

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-320100

(43)Date of publication of application : 16.11.2001

(51)Int.Cl.

H01L 41/09

B06B 1/06

B06B 1/08

H01L 41/22

H02N 2/00

(21)Application number : 2000-089957

(71)Applicant : NGK INSULATORS LTD

(22)Date of filing : 28.03.2000

(72)Inventor : TAKEUCHI YUKIHISA  
NANATAKI TSUTOMU  
KIMURA KOJI

(30)Priority

Priority number : 11281522

Priority date : 01.10.1999

Priority country : JP

11307844

28.10.1999

11326195

16.11.1999

JP

11371967

27.12.1999

2000013576

21.01.2000

JP

2000015123

24.01.2000

JP

2000056434

01.03.2000

JP

JP

JP

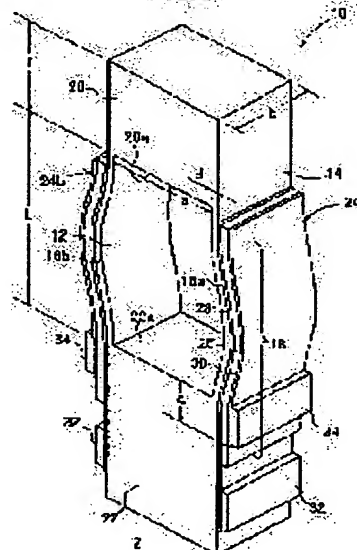
## (54) PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a piezoelectric/electrostrictive device in which strength against external force is enhanced, a large displacement can be obtained and a high resonance frequency can be attained easily.

SOLUTION: The piezoelectric/electrostrictive device 10 comprises a pair of thin plate parts 16a, 16b disposed oppositely, a movable part 20, and a fixed part 22 for supporting the thin plate parts 16a, 16b and the movable part 20 wherein the pair of thin plate parts 16a, 16b are arranged, respectively, with one or more piezoelectric/electrostrictive elements 24a, 24b and a hole part 12 is defined by the opposite inner walls of the pair of thin plate parts 16a, 16b and the inner wall 22a of the fixed part 22. The pair of thin plate parts 16a, 16b are flexed previously in the receding direction to project

FIG. 1



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-320100

(P2001-320100A)

(43) 公開日 平成13年11月16日 (2001. 11. 16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 41/09		B 0 6 B 1/06	Z 5 D 1 0 7
B 0 6 B 1/06		1/08	Z
1/08		H 0 2 N 2/00	B
H 0 1 L 41/22		H 0 1 L 41/08	J
H 0 2 N 2/00		41/22	Z
審査請求 有 請求項の数18 O L (全 23 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-89957 (P2000-89957)

(22) 出願日 平成12年3月28日 (2000. 3. 28)

(31) 優先権主張番号 特願平11-281522

(32) 優先日 平成11年10月1日 (1999. 10. 1)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-307844

(32) 優先日 平成11年10月28日 (1999. 10. 28)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-326195

(32) 優先日 平成11年11月16日 (1999. 11. 16)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市長区須田町2番56号

(72) 発明者 武内 幸久

愛知県名古屋市長区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 七瀬 努

愛知県名古屋市長区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(74) 代理人 100077665

弁理士 千葉 剛宏 (外1名)

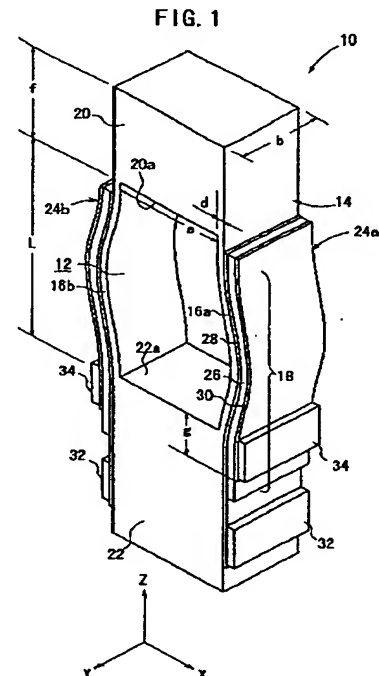
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電／電歪デバイス及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 外力に対する強度を高め、かつ、大変位が得られ、更に高共振周波数化を容易に達成させる。

【解決手段】 相対向する一对の薄板部16a及び16bと、可動部20と、これら薄板部16a及び16bと可動部20を支持する固定部22とを具備し、一对の薄板部16a及び16bに1以上の圧電／電歪素子24a及び24bが配設され、一对の薄板部16a及び16bの両内壁と可動部20の内壁20aと固定部22の内壁22aとにより孔部12が形成された圧電／電歪デバイス10であって、一对の薄板部16aを予め互いに離間する方向に撓ませ、それぞれ外方に向かって凸形状に構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも 1 つの薄板部に 1 以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスであって、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部が予め互いに離間する方向に撓んでいることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 2】 相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも 1 つの薄板部に 1 以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスであって、前記一対の薄板部の少なくとも一部が予め互いに離間する方向に撓んでいることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記一対の薄板部は、それぞれ外方に向かって予め凸形状に撓んでいることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 4】 請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記薄板部の撓み量を  $\delta$ 、該薄板部の長さ（可動部及び固定部の内壁間の距離）を  $L$  としたとき、 $0 < \delta \leq 0.15L$  を満足することを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記薄板部と前記可動部と前記固定部は、セラミックグリーン積層体を同時焼成することによって一体化し、更に不要な部分を切除してなるセラミック基体で構成されていることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 6】 請求項 5 記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記圧電／電歪素子は膜状であって、少なくとも一対の電極のいずれか一方及び／又は圧電／電歪層が焼成によって前記セラミック基体に一体化されていることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 7】 請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記圧電／電歪素子は、圧電／電歪層と、該圧電／電歪層に形成された一対の電極とを有することを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 8】 請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の圧電／電歪デバイスにおいて、

前記圧電／電歪素子は、圧電／電歪層と、該圧電／電歪層の両側に形成された一対の電極とを有し、該一対の電極のうち、一方の電極が少なくとも前記薄板部に形成されていることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 9】 請求項 7 又は 8 記載の圧電／電歪デバイスにおいて、

前記圧電／電歪素子は、前記圧電／電歪層と前記一対の電極の複数が積層形態で構成されていることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

10 【請求項 10】 請求項 1～9 のいずれか 1 項に記載の圧電／電歪デバイスにおいて、前記孔部にゲル状の材料が充填されていることを特徴とする圧電／電歪デバイス。

【請求項 11】 相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも 1 つの薄板部に 1 以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスの製造方法であって、

少なくとも前記薄板部上に前記圧電／電歪素子を作製した後に、所定部位を切除して、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部が互いに離間する方向に撓んだ圧電／電歪デバイスを製造することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項 12】 相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも 1 つの薄板部に 1 以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスの製造方法であって、少なくとも前記薄板部上に前記圧電／電歪素子を作製した後に、所定部位を切除して、前記一対の薄板部の少なくとも一部が互いに離間する方向に撓んだ圧電／電歪デバイスを製造することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項 13】 相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも 1 つの薄板部に 1 以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスの製造方法であって、

少なくとも後に少なくとも前記孔部を形成するための窓部を有する第 1 のセラミックグリーンシートと、後に前記薄板部となる第 2 のセラミックグリーンシートとを含むセラミックグリーン積層体を一体焼成して、後に薄板部となる部分が外方に突出したセラミック積層体を作製する工程と、

前記セラミック積層体のうち、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子を形成する工程と、

前記圧電／電歪素子が形成されたセラミック積層体に対する少なくとも1回の切除処理によって、前記一対の薄板部が互いに離間する方向に撓んだ少なくとも圧電／電歪素子が形成されたセラミック基体を作製する工程とを有することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項14】請求項13記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記第1及び第2のセラミックグリーンシートとして、それぞれ焼成収縮速度及び／又は焼成収縮量に差を有するものを使用することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項15】請求項13又は14記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記圧電／電歪素子を形成する工程が、膜形成法に従うものであって、

少なくとも一対の電極のいずれか一方及び／又は圧電／電歪層が焼成によって、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に一体化するものであることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項16】相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも1つの薄板部に1以上の圧電／電歪素子が配設され、

前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスの製造方法であって、

少なくとも後に少なくとも前記孔部を形成するための窓部を有するセラミックグリーンシートと、後に前記薄板部となるセラミックグリーンシートとを含むセラミックグリーン積層体を作製する工程と、

前記セラミックグリーン積層体のうち、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子の少なくとも一部を構成する前駆体を形成する工程と、

前記セラミックグリーン積層体と前記圧電／電歪素子の少なくとも一部又は全部を構成する前駆体を同時焼成して、後に薄板部となる部分が外方に突出したセラミック積層体を作製し、かつ、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子の少なくとも一部又は全部を形成する工程と、

前記セラミック積層体に対する少なくとも1回の切除処理によって、前記一対の薄板部が互いに離間する方向に撓んだセラミック基体を作製する工程とを有することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項17】請求項16記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記セラミックグリーン積層体に前記圧電／電歪素子の

少なくとも一部を構成する前駆体を形成する際に、少なくとも薄板部となる部分の材料と前記圧電／電歪素子の材料との熱膨張差を制御して形成することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【請求項18】請求項13～17のいずれか1項に記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記セラミック積層体に対する切除処理によって、前記孔部を露出させることを含むことを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、圧電／電歪素子の変位動作に基づいて作動する可動部を備えた圧電／電歪デバイス、もしくは可動部の変位を圧電／電歪素子により検出できる圧電／電歪デバイス及びその製造方法に関し、詳しくは、強度、耐衝撃性、耐湿性に優れ、効率よく可動部を大きく作動させることができる圧電／電歪デバイス及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近時、光学や磁気記録、精密加工等の分野において、サブミクロンオーダーで光路長や位置を調整可能な変位素子が必要とされており、圧電／電歪材料（例えば強誘電体等）に電圧を印加したときに惹起される逆圧電効果や電歪効果による変位を利用した変位素子の開発が進められている。

【0003】従来、このような変位素子としては、例えば図32に示すように、圧電／電歪材料からなる板状体200に孔部202を設けることにより、固定部204と可動部206とこれらを支持する梁部208とを一体に形成し、更に、梁部208に電極層210を設けた圧電アクチュエータが開示されている（例えば特開平10-136665号公報参照）。

【0004】前記圧電アクチュエータにおいては、電極層210に電圧を印加すると、逆圧電効果や電歪効果により、梁部208が固定部204と可動部206とを結ぶ方向に伸縮するため、可動部206を板状体200の面内において弧状変位又は回転変位させることが可能である。

【0005】一方、特開昭63-64640号公報には、バイモルフを用いたアクチュエータに関して、そのバイモルフの電極を分割して設け、分割された電極を選択して駆動することにより、高精度な位置決めを高速に行う技術が開示され、この公報中、特に、その第4図には、例えば2枚のバイモルフを対向させて使用する構造が示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記圧電アクチュエータにおいては、圧電／電歪材料の伸縮方向（即ち、板状体の面内方向）の変位をそのまま可動部に伝達していたため、可動部の作動量が小さいという問

題があった。

【0007】また、圧電アクチュエータは、すべての部分を脆弱で比較的重い材料である圧電／電歪材料によって構成しているため、機械的強度が低く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に劣ることに加え、圧電アクチュエータ自体が重く、動作上、有害な振動（例えば、高速作動時の残留振動やノイズ振動）の影響を受けやすいという問題点があった。

【0008】前記問題点を解決するために、孔部に柔軟性を有する充填材を充填することが提案されているが、単に充填材を使用しただけでは、逆圧電効果や電歪効果による変位の量が低下することは明らかである。

【0009】一方、特開昭63-64640号公報の第4図が示すものは、中継部材とバイモルフ並びにヘッドとバイモルフとの接合形態において、共に歪みを発生するいわゆる圧電作動部位がそれぞれの接合部位を跨ぐ構造、即ち、中継部材とヘッドにわたってバイモルフが連続的に構成されている。

【0010】その結果、バイモルフを作動させた際、中継部材とバイモルフとの接合部を支点とした変位動作と、ヘッドとバイモルフとの接合点を支点とした変位動作が互いに干渉し合い、変位の発現を阻害し、ヘッドを外空間に対して大きく変位させるような作用が得られない構造であった。

【0011】また、従来のこの種のデバイスにおいては、外力に対して弱い構造のものが多く、高共振周波数化を図ることが困難であるという問題がある。

【0012】本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、外力に対する強度を高めることができると共に、高共振周波数化を容易に達成することができ、かつ、可動部の変位量が大きくでき、しかも、作動上、有害な振動の影響を受け難く、高速応答が可能で、機械的強度が高く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に優れた変位素子、並びに可動部の振動を精度よく検出することが可能なセンサ素子を得ることができる圧電／電歪デバイス及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも1つの薄板部に1以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスであって、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部が予め互いに離間する方向に撓んでいることを特徴とする。

【0014】また、本発明は、前記圧電／電歪デバイスにおいて、前記一対の薄板部の少なくとも一部が予め互いに離間する方向に撓んでいることを特徴とする。この

場合、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部、又は前記一対の薄板部の少なくとも一部は、外方に向かって予め凸形状に撓んでいるようにしてもよい。

【0015】通常、可動部は、薄板部の振動（圧電／電歪素子への電圧印加に伴う薄板部の屈曲変位動作）の共振周波数を越えて動作させることができず、可動部の変位動作の高速化を図るためには、薄板部の剛性を高くし、薄板部の振動自体の共振周波数を高くすることが有効である。

【0016】本発明においては、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部、又は前記一対の薄板部の少なくとも一部が予め互いに離間する方向に撓んで、外方に向かって凸形状とされていることから、薄板部の振動（屈曲変位）に対しては高い剛性を示し、その結果、薄板部の振動自体の共振周波数を高くすることができる。また、このような薄板部が予め互いに離間する方向に撓んだ構造は、圧電／電歪素子の変位を可動部の外空間に向かう方向の変位に変換する上で効率のよい構造であることから、可動部を大きく変位させることができる。つまり、本発明では、薄板部の剛性を高めつつ、この増大した剛性から予想される可動部の変位低下を、薄板部を外方に突出させる構造とし、変位の変換効率を上げることで抑制し、結果として、可動部を高速に、そして、大きく変位させることが可能な構造としたものである。更に、上述の構造により、外部から薄板部にかかる力（外力）に対しても大きな耐性を示すため、強度的にも高いものとなる。

【0017】そして、前記薄板部の撓み量（予め撓んでいる量）を $\delta$ 、該薄板部の長さ（可動部及び固定部の内壁間の距離）を $L$ としたとき、 $0 < \delta \leq 0.15L$ を満足することが好ましい。前記撓み量をこの範囲に設定することにより、圧電／電歪素子の変位をより効率的に可動部の変位として利用することができる。

【0018】また、前記可動部、固定部、薄板部は、セラミックスもしくは金属を用いて構成されていてもよく、また、各部をセラミック材料同士で構成することもできるし、あるいは金属材料同士で構成することもできる。更には、セラミックスと金属の材料とから製造されたものを組み合わせたハイブリッド構造として構成することもできる。

【0019】前記構成において、前記薄板部と前記可動部と前記固定部は、セラミックグリーン積層体を同時焼成することによって一体化し、更に不要な部分を切除してなるセラミック基体で構成するようにしてもよい。また、前記圧電／電歪素子を膜状とし、少なくとも一対の電極のいずれか一方及び／又は圧電／電歪層を焼成によって前記セラミック基体に一体化するようにしてもよい。

【0020】この場合、前記圧電／電歪素子は、圧電／

電歪層と、該圧電／電歪層に形成された一対の電極とを有して構成することができる。また、前記圧電／電歪素子は、圧電／電歪層と、該圧電／電歪層の両側に形成された一対の電極とを有し、該一対の電極のうち、一方の電極を少なくとも前記薄板部に形成するようにしてもよい。この場合、圧電／電歪素子による振動を薄板部を通じて効率よく可動部又は固定部に伝達することができ、応答性の向上を図ることができる。特に、前記圧電／電歪素子は、前記圧電／電歪層と前記一対の電極が複数積層形態で構成されていることが好ましい。

【0021】このような構成にすることにより、圧電／電歪素子の発生力が増大し、もって大変位が図られると共に、デバイス自体の剛性が増すことで、高共振周波数化が図られ、変位動作の高速化を容易に達成できるという特徴がある。なお、前記孔部にゲル状の材料を充填するようにしてもよい。

【0022】次に、本発明に係る圧電／電歪デバイスの製造方法は、相対向する一対の薄板部と、可動部と、これら薄板部と可動部を支持する固定部とを具備し、前記一対の薄板部のうち、少なくとも1つの薄板部に1以上の圧電／電歪素子が配設され、前記一対の薄板部の両内  
20 壁と前記可動部の内壁と前記固定部の内壁とにより孔部が形成された圧電／電歪デバイスの製造方法であって、少なくとも前記薄板部上に前記圧電／電歪素子を作製した後に、所定部位を切除して、前記一対の薄板部のうち、少なくとも一方の薄板部の少なくとも一部が互いに離間する方向に撓んだ圧電／電歪デバイスを製造することを特徴とする。

【0023】また、本発明は、前記製造方法であって、少なくとも前記薄板部上に前記圧電／電歪素子を作製した後に、所定部位を切除して、前記一対の薄板部の少なくとも一部が互いに離間する方向に撓んだ圧電／電歪  
30 デバイスを製造することを特徴とする。

【0024】ここでいう圧電／電歪素子を作成した後は、少なくとも圧電／電歪層が形成された状態を示し、圧電／電歪層の形成後に形成される電極に対しては、切除を行った後に形成するようにしてもよい。

【0025】そして、上述の製造方法において、少なくとも後に少なくとも前記孔部を形成するための窓部を有する第1のセラミックグリーンシートと、後に前記薄板部となる第2のセラミックグリーンシートとを含むセラミックグリーン積層体を一体焼成して、後に薄板部となる部分が外方に突出したセラミック積層体を作製する工程と、前記セラミック積層体のうち、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子を形成する工程と、前記圧電／電歪素子が形成されたセラミック積層体に対する少なくとも1回の切除処理によって、前記一対の薄板部が互いに離間する方向に撓んだ少なくとも圧電／電歪素子が形成されたセラミック基体を作製する工程とを有するようにしてもよい。この場合、前記第  
50

1及び第2のセラミックグリーンシートとして、それぞれ焼成収縮速度及び／又は焼成収縮量に差を有するものを使用することが好ましい。

【0026】前記圧電／電歪素子を形成する工程は、膜形成法に従うものであって、少なくとも一対の電極のいずれか一方及び／又は圧電／電歪層を焼成によって、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に一体化するようにしてもよい。

【0027】上述の製造方法により、外力に対する強度を高めることができ、高共振周波数化を容易に達成することができる圧電／電歪デバイスを効率よく、かつ、確実に、かつ、容易に製造することができ、高性能な圧電／電歪デバイスの量産化を実現させることができる。

【0028】また、本発明は、上述の圧電／電歪デバイスの製造方法において、少なくとも後に少なくとも前記孔部を形成するための窓部を有するセラミックグリーンシートと、後に前記薄板部となるセラミックグリーンシートとを含むセラミックグリーン積層体を作製する工程と、前記セラミックグリーン積層体のうち、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子の少なくとも一部を構成する前駆体を形成する工程と、前記セラミックグリーン積層体と前記圧電／電歪素子の少なくとも一部又は全部を構成する前駆体を同時焼成して、後に薄板部となる部分が外方に突出したセラミック積層体を作製し、かつ、少なくとも前記薄板部となる部分の外表面に前記圧電／電歪素子の少なくとも一部又は全部を形成する工程と、前記セラミック積層体に対する少なくとも1回の切除処理によって、前記一対の薄板部が互いに離間する方向に撓んだセラミック基体を作製する工程とを有するようにしてもよい。

【0029】この場合、前記セラミックグリーン積層体に前記圧電／電歪素子の少なくとも一部を構成する前駆体を形成する際に、少なくとも薄板部となる部分の材料と前記圧電／電歪素子の材料との熱膨張差を制御して形成することが好ましい。これにより、前記セラミックグリーン積層体と前記圧電／電歪素子の少なくとも一部又は全部を構成する前駆体を焼成したとき、少なくとも薄板部となる部分の材料と前記圧電／電歪素子の少なくとも一部を構成する前駆体の材料との熱膨張差によって、セラミック積層体のうち、後に薄板部となる部分が突出し、該薄板部となる部分に圧電／電歪素子が形成されたかたちとなる。

【0030】これらの製造方法においては、前記セラミック積層体に対する切除処理によって前記孔部を露出させることを併せて行うようにしてもよい。

【0031】従って、本発明に係る圧電／電歪デバイスによれば、各種トランスデューサ、各種アクチュエータ、周波数領域機能部品（フィルタ）、トランス、通信用や動力用の振動子や共振子、発振子、ディスクリミネータ等の能動素子のほか、超音波センサや加速度セン

サ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサ等の各種センサ用のセンサ素子として利用することができ、特に、光学機器、精密機器等の各種精密部品等の変位や位置決め調整、角度調整の機構に用いられる各種アクチュエータに好適に利用することができる。

#### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る圧電／電歪デバイス及びその製造方法の実施の形態例を図1～図31を参照しながら説明する。

【0033】ここで、圧電／電歪デバイスは、圧電／電歪素子により電氣的エネルギーと機械的エネルギーとを相互に変換する素子を包含する概念である。従って、各種アクチュエータや振動子等の能動素子、特に、逆圧電効果や電歪効果による変位を利用した変位素子として最も好適に用いられるほか、加速度センサ素子や衝撃センサ素子等の受動素子としても好適に使用され得る。

【0034】本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10は、図1に示すように、全体として長尺の直方体の形状を呈し、その長軸方向のほぼ中央部分に孔部12が設けられた基体14を有する。

【0035】基体14は、相対向する一対の薄板部16a及び16bと、可動部20と、前記一対の薄板部16a及び16b並びに可動部20を支持する固定部22とを具備し、少なくとも薄板部16a及び16bの各一部にそれぞれ圧電／電歪素子24a及び24bが形成されている。

【0036】この基体14については、全体をセラミックスもしくは金属を用いて構成されたもののほか、セラミックスと金属の材料で製造されたものを組み合わせたハイブリッド構造としてもよい。

【0037】また、基体14は、各部を有機樹脂、ガラス等の接着剤で接着してなる構造、セラミックグリーン積層体を焼成により一体化してなるセラミック一体構造、ロウ付け、半田付け、共晶接合もしくは溶接等で一体化した金属一体構造等の構成を採用することができ、好ましくはセラミックグリーン積層体を焼成により一体化したセラミック積層体で基体14を構成することが望ましい。

【0038】このようなセラミックスの一体化物は、各部の接合部に接着剤が介在しないことから、経時的な状態変化がほとんど生じないため、接合部位の信頼性が高く、かつ、剛性確保に有利な構造であることに加え、後述するセラミックグリーンシート積層法により、容易に製造することが可能である。

【0039】そして、圧電／電歪素子24a及び24bは、後述のとおり別体として圧電／電歪素子24a及び24bを準備して、基体14に有機樹脂、ガラス等の接着剤や、ロウ付け、半田付け、共晶接合等で貼り付けられるほか、膜形成法を用いることにより、前記貼り付けではなく直接基体14に形成されることとなる。

【0040】また、この圧電／電歪デバイス10は、一対の薄板部16a及び16bの両内壁と可動部20の内壁20aと固定部22の内壁22aにより例えば矩形状の前記孔部12が形成され、前記圧電／電歪素子24a及び／又は24bの駆動によって可動部20が変位し、あるいは可動部20の変位を圧電／電歪素子24a及び／又は24bにより検出する構成を有する。

【0041】圧電／電歪素子24a及び24bは、圧電／電歪層26と、該圧電／電歪層26の両側に形成された一対の電極28及び30とを有して構成され、該一対の電極28及び30のうち、一方の電極28が少なくとも一対の薄板部16a及び16bに形成されている。

【0042】図1の例では、圧電／電歪素子24a及び24bを構成する一対の電極28及び30並びに圧電／電歪層26の各先端面がほぼ揃っており、この圧電／電歪素子24a及び24bの実質的駆動部分18（一対の電極28及び30が圧電／電歪層26を間に挟んで重なる部分）が固定部22の外表面の一部から薄板部16a及び16bの外表面の一部にかけて連続的に形成されている。特に、この例では、一対の電極28及び30の各先端面が可動部20の内壁20aよりもわずかに後端寄りに位置されている。もちろん、前記実質的駆動部分18が可動部20の一部から薄板部16a及び16bの一部にかけて位置するように圧電／電歪素子24a及び24bを形成するようにしてもよい。

【0043】なお、一対の電極28及び30への電圧の印加は、各電極28及び30のうち、それぞれ固定部22の両側面（素子形成面）上に形成された端子（パッド）32及び34を通じて行われるようになっている。各端子32及び34の位置は、一方の電極28に対応する端子32が固定部22の後端寄りに形成され、外部空間側の他方の電極30に対応する端子34が固定部22の内壁22a寄りに形成されている。

【0044】この場合、圧電／電歪デバイス10の固定を、端子32及び34が配置された面とは別の面を利用してそれぞれ別個に行うことができ、結果として、圧電／電歪デバイス10の固定と、回路と端子32及び34間の電氣的接続の双方に高い信頼性を得ることができる。この構成においては、フレキシブルプリント回路（FPCとも称される）、フレキシブルフラットケーブル（FFCとも称される）、ワイヤボンディング等によって端子32及び34と回路との電氣的接続が行われる。

【0045】圧電／電歪素子24a及び24bの構成としては、図1に示す構成のほか、図2に示す第1の変形例に係る圧電／電歪デバイス10aのように、圧電／電歪素子24a及び24bを構成する一対の電極28及び30の各先端部を揃え、圧電／電歪層26の先端部のみを可動部20側に突出させるようにしてもよく、また、図3に示す第2の変形例に係る圧電／電歪デバイス10



bのように、一方の電極28と圧電／電歪層26の各先端部を揃え、他方の電極30の先端部のみを固定部22寄りに位置させるようにしてもよい。

【0046】その他、図4に示す第3の変形例に係る圧電／電歪デバイス10cのように、一方の電極28及び圧電／電歪層26の各先端部を可動部20の側面にまで延ばし、他方の電極30の先端部を薄板部16a及び16bの長さ方向（Z軸方向）のほぼ中央に位置させるようにしてもよい。

【0047】上述の例では、圧電／電歪素子24a及び24bを、1層構造の圧電／電歪層26と一対の電極28及び30で構成するようにしたが、その他、圧電／電歪素子24a及び24bを、圧電／電歪層26と一対の電極28及び30の複数を積層形態にして構成することも好ましい。

【0048】例えば図5に示す第4の変形例に係る圧電／電歪デバイス10dのように、圧電／電歪層26並びに一対の電極28及び30をそれぞれ多層構造とし、一方の電極28と他方の電極30をそれぞれ交互に積層して、これら一対の電極28と他方の電極30が圧電／電歪層26を間に挟んで重なる部分（実質的駆動部分18）が多段構成とされた圧電／電歪素子24a及び24bとしてもよい。この図5の例では、圧電／電歪層26を3層構造とし、1層目の下面（薄板部16a及び16bの側面）と2層目の上面に一方の電極28をそれぞれ分離して形成し、1層目の上面と3層目の上面に他方の電極30をそれぞれ分離して形成し、更に、一方の電極28の各端部にそれぞれ端子32a及び32bを設け、他方の電極30の各端部にそれぞれ端子34a及び34bを設けた例を示している。

【0049】また、図6に示す第5の変形例に係る圧電／電歪デバイス10eのように、圧電／電歪層26並びに一対の電極28及び30をそれぞれ多層構造とし、一方の電極28と他方の電極30を断面ほぼ櫛歯状となるようにそれぞれ互い違いに積層し、これら一対の電極28と他方の電極30が圧電／電歪層26を間に挟んで重なる部分（実質的駆動部分18）が多段構成とされた圧電／電歪素子24a及び24bとしてもよい。この図6の例では、圧電／電歪層26を3層構造とし、一方の電極28が1層目の下面（薄板部16a及び16bの側面）と2層目の上面に位置するように櫛歯状に形成し、他方の電極30が1層目の上面と3層目の上面に位置するように櫛歯状に形成した例を示している。この構成の場合、一方の電極28同士並びに他方の電極30同士をそれぞれつないで共通化することで、図5に示す構成と比べて端子32及び34の数を減らすことができるため、圧電／電歪素子24a及び24bの多層化に伴うサイズの大型化を抑えることができる。

【0050】また、図7に示す第6の変形例に係る圧電／電歪デバイス10fのように、圧電／電歪素子24a

及び24bを、その先端部が薄板部16a及び16b上にとどまるように形成するようにしてもよい。図7の例では、一方の電極28の先端部を薄板部16a及び16bの長さ方向のほぼ中央部に位置された例を示す。この場合、可動部20を大きく変位させることができるという利点がある。

【0051】また、図8に示す第7の変形例に係る圧電／電歪デバイス10gのように、可動部20に互いに対向する端面36a及び36bを形成するようにしてもよい。この場合、製造時に圧電／電歪素子24a及び24b及び／又は薄板部16a及び16bに生じていた内部残留応力を前記端面36a及び36bの移動によって解放することができるため、可動部20の変位動作が前記内部残留応力によって阻害されることがなくなり、ほぼ設計通りの可動部20の変位動作を得ることができる。加えて、この応力の解放によって、圧電／電歪デバイス10gの機械強度の向上も図ることができる。

【0052】これら端面36a及び36bの間には、図8に示すように、空隙（空気）38を介在させるようにしてもよいし、前記可動部20の構成部材とは異なる部材、例えば樹脂等からなる部材を介在させるようにしてもよい。上述の例では、互いに対向する端面36a及び36bを可動部20に設けた例を示したが、その他、固定部22に設けるようにしてもよい。

【0053】また、図9に示す第8の変形例に係る圧電／電歪デバイス10hのように、2つの多段構成の圧電／電歪素子24a1及び24b1をそれぞれ固定部22と薄板部16a及び16bとを跨るように形成し、他の2つの多段構成の圧電／電歪素子24a2及び24b2をそれぞれ可動部20と薄板部16a及び16bとを跨るように形成するようにしてもよい。この場合、圧電／電歪素子24a及び24bを多段構成にする効果と、可動部20を変位させるための作用点が増えるという効果により、可動部20をきわめて大きく変位させることができ、加えて剛性が上がり、高速応答性にも優れたものになり、好ましい。

【0054】また、図10に示す第9の変形例に係る圧電／電歪デバイス10iのように、圧電／電歪層26を2層構造とし、一方の電極28が1層目の下面（薄板部16a及び16bの側面）と2層目の上面に位置するように櫛歯状に形成し、他方の電極30が1層目の上面に位置するように形成した多段構成の圧電／電歪素子24a及び24bとしてもよい。

【0055】このような圧電／電歪素子24a及び24bを多段構成とすることにより、圧電／電歪素子24a及び24bの発生力が増大し、もって大変位が図られると共に、圧電／電歪デバイス10自体の剛性が増すことで、高共振周波数化が図られ、変位動作の高速化が容易に達成できる。

【0056】なお、段数を多くすれば、駆動力の増大は



図られるが、それに伴い消費電力も増えるため、実際に実施する場合には、用途、使用状態に応じて適宜段数等を決めればよい。また、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10では、圧電／電歪素子24a及び24bを多段構造にして駆動力を上げても、基本的に薄板部16a及び16bの幅（Y軸方向の距離）は不変であるため、例えば非常に狭い間隙において使用されるハードディスク用磁気ヘッドの位置決め、リンギング制御等のアクチュエータに適用する上で非常に好ましいデバイスとなる。

【0057】上述の圧電／電歪素子24a及び24bにおいては、一對の電極28及び30間に圧電／電歪層26を介在させたいわゆるサンドイッチ構造で構成した場合を示したが、その他、図11に示すように、少なくとも薄板部16a及び16bの側面に形成された圧電／電歪層26の一主面に櫛型構造の一對の電極28及び30を形成するようにしてもよいし、図12に示すように、少なくとも薄板部16a及び16bの側面に形成された圧電／電歪層26に櫛型構造の一對の電極28及び30を埋め込んで形成するようにしてもよい。

【0058】図11に示す構造の場合、消費電力を低く抑えることができるという利点があり、図12に示す構造は、歪み、発生力の大きな電界方向の逆圧電効果を効果的に利用できる構造であることから、大変位の発生に有利になる。

【0059】具体的には、図11に示す圧電／電歪素子24a及び24bは、圧電／電歪層26の一主面に櫛型構造の一對の電極28及び30が形成されてなり、一方の電極28及び他方の電極30が互い違いに一定の幅の間隙29をもって相互に対向する構造を有する。図11の例では、一對の電極28及び30を圧電／電歪層26の一主面に形成した例を示したが、その他、薄板部16a及び16bと圧電／電歪層26との間に一對の電極28及び30を形成するようにしてもよいし、圧電／電歪層26の一主面並びに薄板部16a及び16bと圧電／電歪層26との間にそれぞれ櫛型構造の一對の電極28及び30を形成するようにしてもよい。

【0060】一方、図12に示す圧電／電歪素子24a及び24bは、圧電／電歪層26に埋め込まれるように、櫛型構造の一對の電極28及び30が形成され、一方の電極28及び他方の電極30が互い違いに一定の幅の間隙29をもって相互に対向する構造を有する。

【0061】このような図11及び図12に示すような圧電／電歪素子24a及び24bも本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10に好適に用いることができる。図11及び図12に示す圧電／電歪素子24a及び24bのように、櫛型構造の一對の電極28及び30を用いる場合は、各電極28及び30の櫛歯のピッチDを小さくすることで、圧電／電歪素子24a及び24bの変位を大きくすることが可能である。

【0062】そして、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10においては、図1に示すように、一對の薄板部16a及び16bが予め互いに離間する方向に撓んでおり、それぞれ外方に向かって凸形状に撓んだ構造を有する。この場合、図13に示すように、各薄板部16a及び16bの撓み量（予め撓んでいる量）を $\delta$ 、該薄板部16a及び16bの長さ（可動部20及び固定部22の内壁20a及び22a間の距離）を $L$ としたとき、 $0 < \delta \leq 0.15L$ を満足するように設定されている。

10 撓み量 $\delta$ が $0.15L$ を越えるようになると、薄板部16a及び16bの剛性が更に増すことから、高共振周波数化には有利であるが、圧電／電歪素子24a及び24bの変位を可動部20への変位に変換する効率低下し、その結果、低電圧で可動部20を外空間に向けて大きく変位させることが困難になる。なお、ここで、「予め」とは、圧電／電歪素子24a及び24bに電圧が印加されていない状態、もしくは圧電／電歪デバイス10に外力が加わっていない状態、即ち、非作動状態を示す。

20 【0063】ここで、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の動作について説明する。まず、例えば2つの圧電／電歪素子24a及び24bが自然状態、即ち、圧電／電歪素子24a及び24bが共に変位動作を行っていない場合は、図13に示すように、圧電／電歪デバイス10の長軸（固定部の長軸） $m$ と可動部20の中心軸 $n$ とがほぼ一致している。

【0064】この状態から、例えば図14Aの波形図に示すように、一方の圧電／電歪素子24aにおける一對の電極28及び30に所定のバイアス電位 $V_b$ を有するサイン波 $W_a$ をかけ、図14Bに示すように、他方の圧電／電歪素子24bにおける一對の電極28及び30に前記サイン波 $W_a$ とはほぼ $180^\circ$ 位相の異なるサイン波 $W_b$ をかける。

【0065】そして、一方の圧電／電歪素子24aにおける一對の電極28及び30に対して例えば最大値の電圧が印加された段階においては、一方の圧電／電歪素子24aにおける圧電／電歪層26はその主面方向に収縮変位する。これにより、例えば図15に示すように、一方の薄板部16aに対し、矢印Aに示すように、該薄板部16aを例えば右方向に撓ませる方向の応力が発生することから、該一方の薄板部16aは、右方向に撓み、このとき、他方の圧電／電歪素子24bにおける一對の電極28及び30には、電圧は印加されていない状態となるため、他方の薄板部16bは一方の薄板部16aの撓みに追従して右方向に撓む。その結果、可動部20は、圧電／電歪デバイス10の長軸 $m$ に対して例えば右方向に変位する。なお、変位量は、各圧電／電歪素子24a及び24bに印加される電圧の最大値に応じて変化し、例えば最大値が大きくなるほど変位量も大きくなる。

【0066】特に、圧電／電歪層26の構成材料として、抗電界を有する圧電／電歪材料を適用した場合には、図14A及び図14Bの一点鎖線の波形に示すように、最小値のレベルが僅かに負のレベルとなるように、前記バイアス電位を調整するようにしてもよい。この場合、該負のレベルが印加されている圧電／電歪素子（例えば他方の圧電／電歪素子24b）の駆動によって、例えば他方の薄板部16bに一方の薄板部16aの撓み方向と同じ方向の応力が発生し、可動部20の変位量をより大きくすることが可能となる。つまり、図14A及び図14Bにおける一点鎖線に示すような波形を使用することで、負のレベルが印加されている圧電／電歪素子24b又は24aが、変位動作の主体となっている圧電／電歪素子24a又は24bをサポートとするという機能を持たせることができる。

【0067】なお、図9に示す第8の変形例に係る圧電／電歪デバイス10hの例では、対角線上に配置された例えば圧電／電歪素子24a1と圧電／電歪素子24b2に、図14Aに示す電圧（サイン波Wa参照）が印加され、他の圧電／電歪素子24a2と圧電／電歪素子24b1に、図14Bに示す電圧（サイン波Wb参照）が印加される。

【0068】このように、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10においては、圧電／電歪素子24a及び24bの微小な変位が薄板部16a及び16bの撓みを利用して大きな変位動作に増幅されて、可動部20に伝達することになるため、可動部20は、圧電／電歪デバイス10の長軸mに対して大きく変位させることが可能となる。

【0069】ところで、通常、可動部は、薄板部の振動（圧電／電歪素子への電圧印加に伴う薄板部の屈曲変位動作）の共振周波数を越えて動作させることができず、可動部の変位動作の高速化を図るためには、薄板部の剛性を高くし、薄板部の振動自体の共振周波数を高くすることが有効である。

【0070】本実施の形態においては、薄板部が予め互いに離間する方向に撓んで、外方に向かって凸形状とされていることから、薄板部の振動（屈曲変位）に対しては高い剛性を示し、その結果、薄板部の振動自体の共振周波数を高くすることができる。また、このような薄板部16a及び16bが予め互いに離間する方向、つまり、外空間に向かって撓んだ構造は、圧電／電歪素子24a及び24bの変位を可動部20の外空間に向かう方向の変位に変換する上で効率のよい構造であることから、可動部20を大きく変位させることができる。つまり、本実施の形態では、薄板部16a及び16bの剛性を高めつつ、この増大した剛性から予想される可動部20の変位低下を、薄板部16a及び16bを外方に突出させる構造とし、変位の変換効率を上げることで抑制し、結果として、可動部20を高速に、そして、大きく

変位させることが可能な構造としたものである。更に、上述の構造により、外部から薄板部にかかる力（外力）に対しても大きな耐性を示すため、強度的にも高いものとなる。

【0071】ここで、周波数とは、一对の電極28及び30に印加する電圧を交替的に切り換えて、可動部20を左右に変位させたときの電圧波形の周波数を示し、共振周波数とは、可動部20の変位動作が所定の振動モードで追従できる最大の周波数を示す。

【0072】また、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10においては、可動部20、薄板部16a及び16b並びに固定部22が一体化されており、すべての部分を脆弱で比較的重い材料である圧電／電歪材料によって構成する必要がないため、機械的強度が高く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に優れ、動作上、有害な振動（例えば、高速作動時の残留振動やノイズ振動）の影響を受け難いという利点を有する。

【0073】また、この実施の形態においては、圧電／電歪素子24a及び24bを、圧電／電歪層26と、該圧電／電歪層26の両側に形成された一对の電極28及び30とを有して構成し、一对の電極28及び30のうち、一方の電極28を少なくとも薄板部16a及び16bの外表面に形成するようにしたので、圧電／電歪素子24a及び24bによる振動を薄板部16a及び16bを通じて効率よく可動部20に伝達することができ、応答性の向上を図ることができる。

【0074】また、この実施の形態においては、一对の電極28及び30が圧電／電歪層26を間に挟んで重なる部分（実質的駆動部分18）を固定部22の一部から薄板部16a及び16bの一部にかけて連続的に形成するようにしている。実質的駆動部分18を更に可動部20の一部にかけて形成した場合、可動部20の変位動作が前記実質的駆動部分18によって制限され、大きな変位を得ることができなくなるおそれがあるが、この実施の形態では、前記実質的駆動部分18を可動部20と固定部22の両方にかけないように形成しているため、可動部20の変位動作が制限されるという不都合が回避され、上述した薄板部16a及び16bが予め互いに離間する方向に撓んでいる効果との相乗効果により、可動部20の変位量を大きくすることができる。

【0075】逆に、可動部20の一部に圧電／電歪素子24a及び24bを形成する場合は、前記実質的駆動部分18が可動部20の一部から薄板部16a及び16bの一部にかけて位置させるように形成することが好ましい。これは、実質的駆動部分18が固定部22の一部にまでわたって形成されると、上述したように、可動部20の変位動作が制限されるからである。

【0076】次に、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の好ましい構成例について説明する。

【0077】まず、図1に示すように、可動部20の変

位動作を確実なものとするために、圧電／電歪素子24a及び24bの実質的駆動部分18が固定部22もしくは可動部20にかかる距離gを薄板部16a及び16bの厚みdの1/2以上とすることが好ましい。

【0078】そして、可動部20の内壁20aと薄板部16a及び16bとの接合部分の間におけるX軸方向の距離、もしくは固定部22の内壁22aと薄板部16a及び16bとの接合部分の間におけるX軸方向の距離のうち、大きい方の距離aと薄板部16a及び16bの幅(Y軸方向の距離)bとの比a/bが0.5~2.0となるように構成する。前記比a/bは、好ましくは1~1.0とされ、更に好ましくは2~8とされる。この比a/bの規定値は、可動部20の変位量を大きくし、X-Z平面内での変位を支配的に得られることの発見に基づく規定である。

【0079】一方、薄板部16a及び16bの長さ(Z軸方向の距離)Lと上述した距離aとの比L/aにおいては、好ましくは0.5~1.0とされ、更に好ましくは0.7~5とすることが望ましい。この比L/aの規定値は、可動部20の変位量を大きくでき、かつ、高い共振周波数で変位動作を行うことができる(高い応答速度を達成できる)という発見に基づく規定である。

【0080】従って、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10をY軸方向への煽り変位、あるいは振動を抑制し、かつ、高速応答性に優れ、相対的に低電圧で大きな変位を併せ持つ構造とするには、比a/bを0.5~2.0とし、かつ、比L/aを0.5~1.0にすることが好ましく、更に好ましくは比a/bを1~1.0とし、かつ、比L/aを0.7~5にすることである。

【0081】更に、孔部12にゲル状の材料、例えばシリコンゲルを充填することが好ましい。通常は、充填材の存在によって、可動部20の変位動作が制限を受けることになるが、この実施の形態では、可動部20への切欠き(互いに対向する端面36a及び36b)の形成に伴う軽量化や可動部20の変位量の増大化を図るようにしているため、前記充填材による可動部20の変位動作の制限が打ち消され、充填材の存在による効果、即ち、高共振周波数化や剛性の確保を実現させることができる。

【0082】また、可動部20の長さ(Z軸方向の距離)fは、短いことが好ましい。短くすることで軽量化と共振周波数の増大が図られるからである。しかしながら、可動部20のX軸方向の剛性を確保し、その変位を確実なものとするためには、薄板部16a及び16bの厚みdとの比f/dを3以上、好ましくは10以上とすることが望ましい。

【0083】なお、各部の実寸法は、可動部20への部品の取り付けのための接合面積、固定部22を他の部材に取り付けるための接合面積、電極用端子などの取り付けのための接合面積、圧電／電歪デバイス10全体の強

度、耐久度、必要な変位量並びに共振周波数、そして、駆動電圧等を考慮して定められることになる。

【0084】具体的には、可動部20の内壁20aと薄板部16a及び16bとの接合部分の間におけるX軸方向の距離、もしくは固定部22の内壁22aと薄板部16a及び16bとの接合部分の間におけるX軸方向の距離のうち、大きい方の距離aは、100 $\mu$ m~2000 $\mu$ mが好ましく、更に好ましくは200 $\mu$ m~1000 $\mu$ mである。薄板部16a及び16bの幅bは、50 $\mu$ m~2000 $\mu$ mが好ましく、更に好ましくは100 $\mu$ m~500 $\mu$ mである。薄板部16a及び16bの厚みdは、Y軸方向への変位成分である煽り変位が効果的に抑制できるように、薄板部16a及び16bの幅bとの関係においてb>dとされ、かつ、2 $\mu$ m~100 $\mu$ mが好ましく、更に好ましくは4 $\mu$ m~50 $\mu$ mである。

【0085】薄板部16a及び16bの長さLは、200 $\mu$ m~3000 $\mu$ mが好ましく、更に好ましくは300 $\mu$ m~2000 $\mu$ mである。可動部20の長さfは、50 $\mu$ m~2000 $\mu$ mが好ましく、更に好ましくは100 $\mu$ m~1000 $\mu$ mである。

【0086】このような構成にすることにより、X軸方向の変位に対してY軸方向の変位が10%を越えないが、上述の寸法比率と実寸法の範囲で適宜調整を行うことで低電圧駆動が可能で、Y軸方向への変位成分を5%以下に抑制できるというきわめて優れた効果を示す。つまり、可動部20は、実質的にX軸方向という1軸方向に変位することになり、しかも、高速応答性に優れ、相対的に低電圧で大きな変位を得ることができる。

【0087】また、この圧電／電歪デバイス10においては、デバイスの形状が従来のような板状ではなく、可動部20と固定部22が直方体の形状を呈しており、可動部20と固定部22の側面が連続するように一対の薄板部16a及び16bが設けられていることに加え、一対の薄板部16a及び16bが予め互いに離間する方向に捻んでいるため、圧電／電歪デバイス10のY軸方向の剛性を選択的に高くすることができる。

【0088】即ち、この圧電／電歪デバイス10では、平面内(XZ平面内)における可動部20の動作のみを選択的に発生させることができ、可動部20のYZ面内の動作(いわゆる煽り方向の動作)を抑制することができる。

【0089】次に、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の各構成要素について説明する。

【0090】可動部20は、上述したように、薄板部16a及び16bの駆動量に基づいて作動する部分であり、圧電／電歪デバイス10の使用目的に応じて種々の部材が取り付けられる。例えば、圧電／電歪デバイス10を変位素子として使用する場合であれば、光シャッタの遮蔽板等が取り付けられ、特に、ハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めやリング抑制機構に使

用するのであれば、磁気ヘッド、磁気ヘッドを有するスライダ、スライダを有するサスペンション等の位置決めを必要とする部材が取り付けられる。

【0091】固定部22は、上述したように、薄板部16a及び16b並びに可動部20を支持する部分であり、固定部22を例えば前記ハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めを利用する場合には、VCM（ボイスコイルモータ）に取り付けられキャリッジアーム、該キャリッジアームに取り付けられた固定プレート又はサスペンション等に支持固定することにより、圧電／電歪デバイス10の全体が固定される。また、この固定部22には、図1に示すように、圧電／電歪素子24a及び24bを駆動するための端子32及び34、その他の部材が配置される場合もある。

【0092】可動部20及び固定部22を構成する材料としては、剛性を有する限りにおいて特に限定されないが、後述するセラミックグリーンシート積層法を適用できるセラミックスを好適に用いることができる。具体的には、安定化ジルコニア、部分安定化ジルコニアをはじめとするジルコニア、アルミナ、マグネシア、窒化珪素、窒化アルミニウム、酸化チタンを主成分とする材料等が挙げられるほか、これらの混合物を主成分とした材料が挙げられるが、機械的強度や靱性が高い点において、ジルコニア、特に安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料が好ましい。また、金属材料においては、剛性を有する限り、限定されないが、ステンレス鋼、ニッケル等が挙げられる。

【0093】薄板部16a及び16bは、上述したように、圧電／電歪素子24a及び24bの変位により駆動する部分である。薄板部16a及び16bは、可撓性を有する薄板状の部材であって、表面に配設された圧電／電歪素子24a及び24bの伸縮変位を屈曲変位として増幅して、可動部20に伝達する機能を有する。従って、薄板部16a及び16bの形状や材質は、可撓性を有し、屈曲変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものであれば足り、可動部20の応答性、操作性を考慮して適宜選択することができる。

【0094】薄板部16a及び16bの厚みdは、2 $\mu$ m～100 $\mu$ m程度とすることが好ましく、薄板部16a及び16bと圧電／電歪素子24a及び24bとを合わせた厚みは7 $\mu$ m～500 $\mu$ mとすることが好ましい。電極28及び30の厚みは0.1～50 $\mu$ m、圧電／電歪層26の厚みは3～300 $\mu$ mとすることが好ましい。また、薄板部16a及び16bの幅bとしては、50 $\mu$ m～2000 $\mu$ mが好適である。

【0095】薄板部16a及び16bを構成する材料としては、可動部20や固定部22と同様のセラミックスを好適に用いることができ、ジルコニア、中でも安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニア

を主成分とする材料は、薄肉であっても機械的強度が大きいこと、靱性が高いこと、圧電／電歪層や電極材との反応性が小さいことから最も好適に用いられる。

【0096】また、金属材料で構成する場合にも、前述のとおり、可撓性を有し、屈曲変形が可能な金属材料であればよいが、好ましくは、鉄系材料としては、各種ステンレス鋼、各種バネ鋼鋼材で構成することが望ましく、非鉄系材料としては、ベリリウム銅、リン青銅、ニッケル、ニッケル鉄合金で構成することが望ましい。

【0097】前記安定化ジルコニア並びに部分安定化ジルコニアにおいては、次のように安定化並びに部分安定化されたものが好ましい。即ち、ジルコニアを安定化並びに部分安定化させる化合物としては、酸化イットリウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム、酸化カルシウム、及び酸化マグネシウムがあり、少なくともそのうちの1つの化合物を添加、含有させることにより、ジルコニアは部分的にあるいは完全に安定することになるが、その安定化は、1種類の化合物の添加のみならず、それら化合物を組み合わせることで添加することによっても、目的とするジルコニアの安定化は可能である。

【0098】なお、それぞれの化合物の添加量としては、酸化イットリウムや酸化イッテルビウムの場合にあっては、1～30モル%、好ましくは1.5～10モル%、酸化セリウムの場合にあっては、6～50モル%、好ましくは8～20モル%、酸化カルシウムや酸化マグネシウムの場合にあっては、5～40モル%、好ましくは5～20モル%とすることが望ましいが、その中でも特に酸化イットリウムを安定化剤として用いることが好ましく、その場合においては、1.5～10モル%、更に好ましくは2～4モル%とすることが望ましい。また、焼結助剤等の添加物としてアルミナ、シリカ、遷移金属酸化物等を0.05～20wt%の範囲で添加することが可能であるが、圧電／電歪素子24a及び24bの形成手法として、膜形成法による焼成一体化を採用する場合は、アルミナ、マグネシア、遷移金属酸化物等を添加物として添加することも好ましい。

【0099】なお、機械的強度と安定した結晶相が得られるように、ジルコニアの平均結晶粒子径を0.05～3 $\mu$ m、好ましくは0.05～1 $\mu$ mとすることが望ましい。また、上述のように、薄板部16a及び16bについては、可動部20並びに固定部22と同様のセラミックスを用いることができるが、好ましくは、実質的に同一の材料を用いて構成することが、接合部分の信頼性、圧電／電歪デバイス10の強度、製造の煩雑さの低減を図る上で有利である。

【0100】圧電／電歪素子24a及び24bは、少なくとも圧電／電歪層26と、該圧電／電歪層26に電界をかけるための一対の電極28及び30を有するものであり、ユニモルフ型、バイモルフ型等の圧電／電歪素子を用いることができるが、ユニモルフ型の方が、発生す

る変位量の安定性に優れ、軽量化に有利であるため、このような圧電／電歪デバイス10に適している。

【0101】例えば、図1に示すように、一方の電極28、圧電／電歪層26及び他方の電極30が層状に積層された圧電／電歪素子等を好適に用いることができるほか、図5～図10に示すように、多段構成にしてもよい。

【0102】前記圧電／電歪素子24a及び24bは、図1に示すように、圧電／電歪デバイス10の外面側に形成する方が薄板部16a及び16bをより大きく駆動させることができる点で好ましいが、使用形態などに応じて、圧電／電歪デバイス10の内面側、即ち、孔部12の内壁面に形成してもよく、圧電／電歪デバイス10の外側、内面側の双方に形成してもよい。

【0103】圧電／電歪層26には、圧電セラミックスが好適に用いられるが、電歪セラミックスや強誘電体セラミックス、あるいは反強誘電体セラミックスを用いることも可能である。但し、この圧電／電歪デバイス10をハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決め等に用いる場合は、可動部20の変位量と駆動電圧又は出力電圧とのリニアリティが重要とされるため、歪み履歴の小さい材料を用いることが好ましく、抗電界が10kV/mm以下の材料を用いることが好ましい。

【0104】具体的な材料としては、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンズズ酸鉛、マンガンタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、ニオブ酸カリウムナトリウム、タンタル酸ストロンチウムビスマス等を単独で、あるいは混合物として含有するセラミックスが挙げられる。

【0105】特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、圧電／電歪層26の焼結時における薄板部16a及び16b（セラミックス）との反応性が小さく、安定した組成のものが得られる点において、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、及びマグネシウムニオブ酸鉛を主成分とする材料、もしくはチタン酸ナトリウムビスマス主成分とする材料が好適に用いられる。

【0106】更に、前記材料に、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウム、ビスマス、ズズ等の酸化物等を単独で、もしくは混合したセラミックスを用いてもよい。

【0107】例えば、主成分であるジルコン酸鉛とチタン酸鉛及びマグネシウムニオブ酸鉛に、ランタンやストロンチウムを含有させることにより、抗電界や圧電特性を調整可能となる等の利点を得られる場合がある。

【0108】なお、シリカ等のガラス化し易い材料の添

加は避けることが望ましい。なぜならば、シリカ等の材料は、圧電／電歪層の熱処理時に、圧電／電歪材料と反応し易く、その組成を変動させ、圧電特性を劣化させるからである。

【0109】一方、圧電／電歪素子24a及び24bの一方の電極28及び30は、室温において固体であり、導電性に優れた金属で構成されていることが好ましく、例えばアルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、金、鉛等の金属単体、もしくはこれらの合金が用いられ、更に、これらに圧電／電歪層26あるいは薄板部16a及び16bと同じ材料を分散させたサーメット材料を用いてもよい。

【0110】圧電／電歪素子24a及び24bにおける電極28及び30の材料選定は、圧電／電歪層26の形成方法に依存して決定される。例えば薄板部16a及び16b上に一方の電極28を形成した後、該一方の電極28上に圧電／電歪層26を焼成により形成する場合は、一方の電極28には、圧電／電歪層26の焼成温度においても変化しない白金、パラジウム、白金-パラジウム合金、銀-パラジウム合金等の高融点金属を使用する必要があるが、圧電／電歪層26を形成した後、該圧電／電歪層26上に形成される他方の電極30は、低温で電極形成を行うことができるため、アルミニウム、金、銀等の低融点金属を使用することができる。

【0111】また、電極28及び30の厚みは、少なからず圧電／電歪素子24a及び24bの変位を低下させる要因ともなるため、特に圧電／電歪層26の焼成後に形成される電極には、焼成後に緻密でより薄い膜が得られる有機金属ペースト、例えば金レジネートペースト、白金レジネートペースト、銀レジネートペースト等の材料を用いることが好ましい。

【0112】次に、この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の製造方法を図16A～図26を参照しながら説明する。

【0113】この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10は、各部材の構成材料をセラミックスとし、圧電／電歪デバイス10の構成要素として、圧電／電歪素子24a及び24bを除く基体14、即ち、薄板部16a及び16b、固定部22及び可動部20についてはセラミックグリーンシート積層法を用いて製造することが好ましく、一方、圧電／電歪素子24a及び24bをはじめとして、各端子32及び34については、薄膜や厚膜等の膜形成手法を用いて製造することが好ましい。

【0114】圧電／電歪デバイス10の基体14における各部材を一体的に成形することが可能なセラミックグリーンシート積層法によれば、各部材の接合部の経時的な状態変化がほとんど生じないため、接合部位の信頼性が高く、かつ、剛性確保に有利な方法である。

【0115】この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10では、薄板部16a及び16bと固定部22との境界部分（接合部分）並びに薄板部16a及び16bと可動部20との境界部分（接合部分）は、変位発現の支点となるため、接合部分の信頼性は圧電／電歪デバイス10の特性を左右する重要なポイントである。

【0116】また、以下に示す製造方法は、生産性や成形性に優れるため、所定形状の圧電／電歪デバイス10を短時間に、かつ、再現性よく得ることができる。

【0117】以下、具体的に本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の第1の製造方法について説明する。ここで、定義付けをしておく。セラミックグリーンシートを積層して得られた積層体をセラミックグリーン積層体58（例えば図16B参照）と定義し、このセラミックグリーン積層体58を焼成して一体化したものをセラミック積層体60（例えば図17参照）と定義し、このセラミック積層体60から不要な部分を切除して可動部20、薄板部16a及び16b並びに固定部22が一体化されたものをセラミック基体14C（図18参照）と定義する。

【0118】また、この第1の製造方法においては、最終的にセラミック積層体60をチップ単位に切断して、圧電／電歪デバイス10を多数個取りするものであるが、説明を簡単にするために、圧電／電歪デバイス10の1個取りを主体にして説明する。

【0119】まず、ジルコニア等のセラミック粉末にバインダ、溶剤、分散剤、可塑剤等を添加混合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、リバースロールコート法、ドクターブレード法等の方法により、所定の厚みを有するセラミックグリーンシートを作製する。

【0120】次に、金型を用いた打抜加工やレーザ加工等の方法により、セラミックグリーンシートを図16Aのような種々の形状に加工して、複数枚の基体形成用のセラミックグリーンシート50A～50D、52A及び52Bを得る。

【0121】これらセラミックグリーンシート50A～50D、52A及び52Bは、少なくとも後に孔部12を形成する窓部54が形成された複数枚（例えば4枚）のセラミックグリーンシート50A～50Dと、後に薄板部16a及び16bとなる複数枚（例えば2枚）のセラミックグリーンシート52A及び52Bとを有する。ここで、セラミックグリーンシート50A～50Dとセラミックグリーンシート52A及び52Bは、それぞれ焼成収縮速度及び／又は焼成収縮量に差を有するものが使用される。具体的には、これらセラミックグリーンシートの焼成時において、セラミックグリーンシート50A～50Dがセラミックグリーンシート52A及び52Bよりも遅いタイミングで焼結するものが使用されたり、セラミックグリーンシート50A～50Dの焼成収縮量をセラミックグリーンシート52A及び52Bより

も大きなものとするなどが挙げられる。なお、セラミックグリーンシートの枚数は、あくまでも一例である。

【0122】また、このとき、これらの焼成収縮速度の差及び／又は焼成収縮量の差の大きさにより、焼成後の薄板部の突出量が異なるため、所定の突出量が得られる焼成収縮速度の差及び／又は焼成収縮量の差となるように、セラミックグリーンシート50A～50Dとセラミックグリーンシート52A、52Bが選択される。

【0123】なお、一対の薄板部のうち、片側の薄板部のみを予め外方へ突出したものとする場合には、前述のセラミックグリーンシートに対する関係は、セラミックグリーンシート52Aもしくは52Bのいずれかに当てはめればよい。

【0124】その後、図16Bに示すように、セラミックグリーンシート52A及び52Bでセラミックグリーンシート50A～50Dを挟み込むようにして、これらセラミックグリーンシート50A～50D、52A及び52Bを積層・圧着して、セラミックグリーン積層体58とする。

【0125】その後、図16Cに示すように、前記セラミックグリーン積層体58を焼成してセラミック積層体60を得る。このとき、セラミックグリーンシート50A～50Dが、セラミックグリーンシート52A及び52Bよりも遅いタイミングで焼結する及び／又はセラミックグリーンシート50A～50Dの焼成収縮量がセラミックグリーンシート52A及び52Bよりも大きなものとされているため、セラミック積層体60の両主面のうち、後に薄板部となる部分が外方へ突出（膨出を含む）する。

【0126】なお、積層一体化のための圧着回数や順序は限定されない。構造に応じて、例えば窓部54の形状、セラミックグリーンシートの枚数等により所望の構造を得るように適宜決めることができる。

【0127】窓部54の形状は、すべて同一である必要はなく、所望の機能に応じて決定することができる。また、セラミックグリーンシートの枚数、各セラミックグリーンシートの厚みも特に限定されない。

【0128】圧着は、熱を加えることで、より積層性を向上させることができる。また、セラミック粉末（セラミックグリーンシートに使用されたセラミックスと同一又は類似した組成であると、信頼性確保の点で好ましい）、バインダを主体としたペースト、スラリー等をセラミックグリーンシート上に塗布、印刷して、接合補助層とすることで、セラミックグリーンシート界面の積層性を向上させることができる。なお、セラミックグリーンシート52A及び52Bが薄い場合には、プラスチックフィルム、中でも表面にシリコン系の離型剤をコーティングしたポリエチレンテレフタレートフィルムを用いて取り扱うことが好ましい。



【0129】次に、図17に示すように、前記セラミック積層体60の両表面、即ち、セラミックグリーンシート52A及び52Bが積層された表面に相当する表面にそれぞれ圧電／電歪素子24a及び24bを形成する。圧電／電歪素子24a及び24bの形成法としては、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動法等の厚膜形成法や、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着法、イオンプレーティング法、化学気相成長法(CVD)、めっき等の薄膜形成法を用いることができる。

【0130】このような膜形成法を用いて圧電／電歪素子24a及び24bを形成することにより、接着剤を用いることなく、圧電／電歪素子24a及び24bと薄板部16a及び16bとを一体的に接合、配設することができ、信頼性、再現性を確保できると共に、集積化を容易にすることができる。

【0131】この場合、厚膜形成法により圧電／電歪素子24a及び24bを形成することが好ましい。特に、圧電／電歪層26の形成において厚膜形成法を用いれば、平均粒径0.01~5 $\mu$ m、好ましくは0.05~3 $\mu$ mの圧電セラミックスの粒子、粉末を主成分とするペーストやスラリー、又はサスペンションやエマルジョン、ゾル等を用いて膜化することができ、それを焼成することによって良好な圧電／電歪特性を得ることができるからである。

【0132】なお、電気泳動法は、膜を高い密度で、かつ、高い形状精度で形成できるという利点がある。また、スクリーン印刷法は、膜形成とパターン形成とを同時にできるため、製造工程の簡略化に有利である。

【0133】具体的に、圧電／電歪素子24a及び24bの形成について説明する。まず、セラミックグリーン積層体58を1200℃~1600℃の温度で焼成、一体化してセラミック積層体60を得た後、該セラミック積層体60の両表面の所定位置に一方の電極28を印刷、焼成し、次いで、圧電／電歪層26を印刷、焼成し、更に、他方の電極30を印刷、焼成して圧電／電歪素子24a及び24bを形成する。その後、各電極28及び30を駆動回路に電氣的に接続するための端子32及び34を印刷、焼成する。

【0134】ここで、一方の電極28として白金(Pt)、圧電／電歪層26としてジルコン酸チタン酸鉛(PZT)、他方の電極30として金(Au)、更に、端子32及び34として銀(Ag)というように、各部材の焼成温度が積層順に従って低くなるように材料を選定すると、ある焼成段階において、それより以前に焼成された材料の再焼結が起らず、電極材等の剥離や凝集といった不具合の発生を回避することができる。

【0135】なお、適当な材料を選択することにより、圧電／電歪素子24a及び24bの各部材と端子32及び34を逐次印刷して、1回で一体焼成することも可能

であり、圧電／電歪層26を形成した後に低温で各電極30等を設けることもできる。

【0136】圧電／電歪素子24a及び24bの構成膜の焼成温度は、これを構成する材料によって適宜決定されるが、一般には、500℃~1500℃であり、圧電／電歪層26に対しては、好ましくは1000℃~1400℃である。この場合、圧電／電歪層26の組成を制御するためには、圧電／電歪層26の材料の蒸発源の存在下に焼結することが好ましい。

【0137】また、圧電／電歪素子24a及び24bの各部材と端子32及び34は、スパッタ法や蒸着法等の薄膜形成法によって形成してもよく、この場合には、必ずしも熱処理を必要としない。

【0138】次に、上述のようにして、圧電／電歪素子24a及び24bが形成されたセラミック積層体60のうち、不要な部分を切除する。切除する位置は、セラミック積層体60の側部、特に、該切除によってセラミック積層体60の側面に窓部54による孔部12が形成される箇所(切断線C1及びC2参照)である。この切除によって、図18に示すように、一対の薄板部16a及び16bが互いに離間する方向に撓み、外方に向かって凸形状とされたセラミック基体14Cに圧電／電歪素子24a及び24bが形成された本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10が完成する。

【0139】切除の方法としては、ダイシング加工、ワイヤソー加工等の機械加工のほか、YAGレーザ、エキシマレーザ等のレーザ加工や電子ビーム加工を適用することが可能である。切除に当たっては、切除後、300~800℃で加熱処理することが好ましい。これは、加工によりデバイス内にマイクロクラック等の欠陥が生じやすいが、前記熱処理によって前記欠陥を取り除くことができ、信頼性が向上するからである。更に、前記熱処理後に80℃程度の温度で少なくとも10時間程度放置し、エージング処理を施すことが好ましい。このエージング処理で、製造過程の中で受けた種々の応力等を緩和でき、特性の向上に寄与するからである。

【0140】次に、第2の製造方法について図19A及び図19Bを参照しながら説明する。この第2の製造方法は、図19Aに示すように、セラミックグリーン積層体58の両表面、即ち、セラミックグリーンシート52A及び52Bの各表面に圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bを形成する。

【0141】このとき、少なくとも薄板部16a及び16bとなる部分の材料と圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bの材料との熱膨張率を薄板部16a及び16bの方が大きくなるように制御して形成されるが、好ましくは、これら材料間の熱膨張率の比(薄板部16a及び16bの構成材料の熱膨張率/圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bの熱膨張率)を1~10の範囲となるように調



整、制御することが望ましい。

【0142】これにより、セラミックグリーン積層体58と圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bを同時焼成して、図19Bに示すように、前記セラミックグリーン積層体をセラミック積層体としたとき、少なくとも薄板部16a及び16bとなる部分の材料と圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bの材料との熱膨張差によって、セラミック積層体のうち、後に薄板部16a及び16bとなる部分が突出し、該薄板部16a及び16bとなる部分に

圧電／電歪素子24a及び24bが形成されたかたちとなる。

【0143】上述の同時焼成にあたっては、セラミックグリーン積層体58と圧電／電歪素子24a及び24bのすべての構成膜に対して焼成を行うようにしてもよく、一方の電極28とセラミックグリーン積層体58とを同時焼成したり、他方の電極30を除く他の構成膜とセラミックグリーン積層体58とを同時焼成する方法等が挙げられる。

【0144】つまり、圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bとは、焼成前における圧電／電歪素子24a及び24bのすべての構成膜、あるいは焼成前における圧電／電歪素子24a及び24bの他方の電極30を除く他の構成膜を示す。

【0145】圧電／電歪素子24a及び24bとセラミックグリーン積層体58とを同時焼成する方法としては、スラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電／電歪層26の前駆体を成形し、この焼成前の圧電／電歪層26の前駆体をセラミックグリーン積層体58の表面上に熱圧着等で積層し、同時に焼成して可動部20、薄板部16a及び16b、圧電／電歪層26、固定部22とを同時に作製する方法が挙げられる。但し、この方法では、上述した膜形成法を用いて、セラミックグリーン積層体58の表面及び／又は圧電／電歪層26に予め電極28を形成しておく必要がある。

【0146】その他の方法としては、セラミックグリーン積層体58の少なくとも最終的に薄板部16a及び16bとなる部分にスクリーン印刷により圧電／電歪素子24a及び24bの各構成層である電極28及び30、圧電／電歪層26を形成し、同時に焼成することが挙げられる。

【0147】なお、圧電／電歪層26とセラミックグリーン積層体58を同時焼成する場合には、両者の焼成条件を合わせることが必要である。圧電／電歪素子24a及び24bは、必ずしもセラミック積層体60もしくはセラミックグリーン積層体58の両面に形成されるものではなく、片面のみでももちろんよい。

【0148】その後、図19Bに示すように、圧電／電歪素子24a及び24bが形成されたセラミック積層体60のうち、切断線C1及びC2に沿って切断すること

により、セラミック積層体60の側部を切除する。この切除によって、図18に示すように、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10が完成する。

【0149】上述の第1及び第2の製造方法例では、前記可動部20、固定部22、薄板部16a及び16bをセラミック基体14Cにて構成した例を示したが、その他、各部を金属材料同士で構成することもできる。更には、セラミックスと金属の材料とから製造されたものを組み合わせたハイブリッド構造として構成することもできる。この場合、金属材料間の接合、セラミックスと金属材料間の接合においては、有機樹脂、ガラス等での接着、ロウ付け、半田付け、共晶接合、溶接等を用いることができる。

【0150】例えば、可動部20、固定部22をセラミックスとし、薄板部16a及び16bを金属としたハイブリッド構造の圧電／電歪デバイス（第8及び第9の変形例に係る圧電／電歪デバイス10h及び10i）の製造方法（第3及び第4の製造方法）について図20A～図26を参照しながら説明する。この第3及び第4の製造方法で形成される金属とセラミックスを含む基体を基体14Dと記す。

【0151】第3の製造方法は、まず、図20Aに示すように、少なくとも後に孔部12を形成する窓部54が形成された複数枚（例えば4枚）の枠状のグリーンシート50A～50Dを用意する。

【0152】その後、図20Bに示すように、セラミックグリーンシート50A～50Dを積層・圧着して、薄板のないセラミックグリーン積層体（後に薄板部16a及び16bとなる部分がないもの）158とする。その後、薄板のないセラミックグリーン積層体158を焼成して、図21Aに示すように、薄板のないセラミック積層体160を得る。このとき、薄板のないセラミック積層体（後に薄板部16a及び16bとなる部分がないもの）160には、窓部54により孔部130が形成されたかたちとなる。

【0153】次に、図21Bに示すように、別体として構成した圧電／電歪素子24a及び24bをそれぞれ薄板部となる金属板152A及び152Bの表面にエポキシ系接着剤で接着する。この場合、金属板152A及び152Bは、後に薄板部16a及び16bとなる部分をプレス加工等によって予め一方に突出させて凸部154が形成されたものが使用される。図21Bの例では金属板152A及び152Bの一部をそれぞれ円柱の一部の形状やカマボコ形状に突出させた例を示す。別体の圧電／電歪素子24a及び24bは、例えばセラミックグリーンシート積層法により形成することができる。なお、このとき、圧電／電歪素子24a及び24bの前駆体124a及び124bに対して型押し等により、上述の金属板152A及び152Bと同様に突出させてもよ

【0154】次に、金属板152A及び152Bでセラミック積層体160を挟み込むように、かつ、孔部130を塞ぐようにして、これら金属板152A及び152Bをセラミック積層体160にエポキシ系接着剤で接着し、ハイブリッド積層体162（図22参照）とする。

【0155】次に、図22に示すように、圧電／電歪素子24a及び24bが形成されたハイブリッド積層体162のうち、切断線C1及びC2に沿って切断することにより、ハイブリッド積層体162の側部を切除する。この切除によって、図23に示すように、金属板152A及び152Bで構成された薄板部16a及び16bが互いに離間する方向に撓み、外方に向かって凸形状とされた基体14Dに圧電／電歪素子24a及び24bが形成された第10の変形例に係る圧電／電歪デバイス10jが完成する。

【0156】一方、第4の製造方法は、まず、上述の第3の製造方法と同様に、少なくとも後に孔部12を形成する窓部54が形成された複数枚（例えば4枚）の枠状のセラミックグリーンシート50A～50Dを用意し、これらセラミックグリーンシート50A～50Dを積層・圧着して、薄板のないセラミックグリーン積層体158とする（図20A及び図20B参照）。

【0157】次に、薄板のないセラミックグリーン積層体158を焼成して、図24Aに示すように、セラミック積層体160を得る。このとき、薄板のないセラミック積層体160には、窓部54により孔部130が形成されたかたちとなる。

【0158】次に、図24Bに示すように、金属板152A及び152Bで薄板のないセラミック積層体160を挟み込むように、かつ、孔部130を塞ぐようにして、これら金属板152A及び152Bを薄板のないセラミック積層体160にエポキシ系接着剤で接着し、ハイブリッド積層体162とする。この場合も、金属板152A及び152Bは、後に薄板部16a及び16bとなる部分をプレス加工等によって予め一方に突出させて凸部154が形成されたものが使用される。このとき、ハイブリッド積層体162に対して充填材を注入して、後述する圧電／電歪素子24a及び24bを接着する際に、金属板152A及び152Bの凸部154がつぶれないようにすることが好ましい。

【0159】前記充填材は、最終的には除去する必要があるため、溶剤等に溶解しやすく、また、硬い材料であることが好ましく、例えば有機樹脂やワックス、ロウなどが挙げられる。また、アクリル等の有機樹脂にセラミック粉末をフィラーとして混合した材料を採用することもできる。

【0160】次に、図25に示すように、ハイブリッド積層体162における金属板152A及び152Bの表面に、別体として形成した圧電／電歪素子24a及び24bをエポキシ系接着剤で接着する。別体の圧電／電歪

素子24a及び24bは、例えばセラミックグリーンシート積層法により形成することができる。

【0161】次に、圧電／電歪素子24a及び24bが形成されたハイブリッド積層体162のうち、切断線C1及びC2に沿って切断することにより、ハイブリッド積層体162の側部を切除する。この切除によって、図26に示すように、金属板152A及び152Bで構成された薄板部16a及び16bが互いに離間する方向に撓み、外方に向かって凸形状とされた基体14Dに圧電／電歪素子24a及び24bが形成された第11の変形例に係る圧電／電歪デバイス10kを得る。

【0162】また、基体部をすべて金属とする場合には、例えば図21Aにおける薄板のないセラミック積層体160に相当する部位を鋳造により形成するほか、薄状の金属を積層し、クラディング法により形成すればよい。

【0163】ところで、薄板部16a及び16bの撓み状態は、図11で示す形態のほか、図27の第12の変形例に係る圧電／電歪デバイス10mのように、薄板部16a及び16bの一部が孔部12側に撓んでいてもよい。即ち、薄板部16a及び16bと可動部20の内壁20aとの接合部分と薄板部16a及び16bと固定部22の内壁22aとの接合部分を結ぶ線分Mを定義したとき、薄板部16a及び16bの一部がこの線分Mよりも外方に突出していれば、薄板部16a及び16bの他の一部が前記線分Mよりも孔部12側に撓んでいてもよい。

【0164】また、上述の各種圧電／電歪デバイスでは、薄板部16a及び16bの中央部分が外方に突出した例を示したが、図28に示す第13の変形例に係る圧電／電歪デバイス10nのように、薄板部16a及び16bの中央部分以外の部分が外方に突出していてもよい。この構造は、薄板部16a及び16bが金属製であれば、例えばプレス加工などにより、容易に形成することができる。あるいは薄板部16a及び16bを予め平坦状に形成しておいて、その後に、孔部12側から外方につまんで引っ張ることにより、同様に形成することができる。

【0165】また、上述の例では、一対の薄板部16a及び16bを共に外方に撓ませ、かつ、両薄板部16a及び16bに圧電／電歪素子24a及び24bを形成した例を示したが、その他、図29に示す第14の変形例に係る圧電／電歪デバイス10pのように、例えば一方の薄板部16aのみを外方に撓ませ、両薄板部16a及び16bにそれぞれ圧電／電歪素子24a及び24bを形成するようにしてもよいし、図30に示す第15の変形例に係る圧電／電歪デバイス10qのように、一方の薄板部16aのみを外方に撓ませ、かつ、該一方の薄板部16aに圧電／電歪素子24aを形成するようにしてもよい。また、図31に示す第16の変形例に係る圧電

／電歪デバイス10rのように、一对の薄板部16a及び16bを共に外方に撓ませ、そのうち、一方の薄板部16aに圧電／電歪素子24aを形成するようにしてもよい。

【0166】このように、相対向する一对の薄板部16a及び16bの片側の薄板部16aのみに圧電／電歪素子24aを形成した圧電／電歪デバイス10qや10rは、圧電／電歪素子24bが形成されていない薄板部16bの剛性を小さくすることができる。

【0167】その結果、両側に圧電／電歪素子24a及び24bが形成されている圧電／電歪デバイス（例えば圧電／電歪デバイス10）と、片側のみに圧電／電歪素子24aが形成された圧電／電歪デバイス（10qや10r）とを、1つの圧電／電歪素子24aを駆動して得られる変位の大きさを比較すると、片側のみに圧電／電歪素子24aが形成された圧電／電歪デバイス（10qや10r）の方が、対向する側の薄板部16bの剛性が低いという効果から、より大きな変位が得られるという特徴がある。

【0168】上述した圧電／電歪デバイスによれば、各種トランスデューサ、各種アクチュエータ、周波数領域機能部品（フィルタ）、トランス、通信用や動力用の振動子や共振子、発振子、ディスクリミネータ等の能動素子のほか、超音波センサや加速度センサ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサ等の各種センサ用のセンサ素子として利用することができ、特に、光学機器、精密機器等の各種精密部品等の変位や位置決め調整、角度調整の機構に用いられる各種アクチュエータに好適に利用することができる。

【0169】なお、この発明に係る圧電／電歪デバイス及びその製造方法は、上述の実施の形態に限らず、この発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【0170】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る圧電／電歪デバイス及びその製造方法によれば、外力に対する強度を高めることができると共に、高共振周波数化を容易に達成することができ、かつ、変位効率を高めることにより、大きな変位を発生することができ、しかも、作動上、有害な振動の影響を受け難く、高速応答が可能で、機械的強度が高く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に優れた変位素子、並びに可動部の振動を精度よく検出することができるセンサ素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図2】第1の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図3】第2の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図4】第3の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図5】第4の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図6】第5の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図7】第6の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図8】第7の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図9】第8の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図10】第9の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す斜視図である。

【図11】圧電／電歪素子の他の例を一部省略して示す斜視図である。

【図12】圧電／電歪素子の更に他の例を一部省略して示す斜視図である。

【図13】本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスにおいて、圧電／電歪素子が共に変位動作を行っていない場合を示す説明図である。

【図14】図14Aは一方の圧電／電歪素子に印加される電圧波形を示す波形図であり、図14Bは他方の圧電／電歪素子に印加される電圧波形を示す波形図である。

【図15】本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスにおいて、圧電／電歪素子が変位動作を行った場合を示す説明図である。

【図16】図16Aは本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスを第1の製造方法に沿って作製する場合に必要なセラミックグリーンシートの積層過程を示す説明図であり、図16Bはセラミックグリーン積層体とした状態を示す説明図であり、図16Cはセラミックグリーン積層体を焼成してセラミック積層体とした状態を示す説明図である。

【図17】セラミックグリーン積層体を焼成してセラミック積層体とした後、該セラミック積層体に圧電／電歪素子を形成した状態を示す説明図である。

【図18】セラミック積層体を所定の切断線に沿って切断して本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスとした状態を示す説明図である。

【図19】図19Aは第2の製造方法において、セラミックグリーン積層体に圧電／電歪素子の前駆体を形成した状態を示す説明図であり、図19Bはセラミックグリーンシート積層体と圧電／電歪素子の前駆体を同時焼成して、セラミック積層体に圧電／電歪素子を形成した状態を示す説明図である。

【図20】図20Aは第8の変形例に係る圧電／電歪デバイスを第3の製造方法に沿って作製する場合に必要なセラミックグリーンシートの積層過程を示す説明図であり、図20Bはセラミックグリーン積層体とした状態を

示す説明図である。

【図 21】図 21 A はセラミックグリーン積層体を焼成してセラミック積層体とした状態を示す説明図であり、図 21 B は別体として構成した圧電／電歪素子をそれぞれ薄板部となる金属板の表面に接着した状態を示す説明図である。

【図 22】第 3 の製造方法において、金属板をセラミック積層体に接着してハイブリッド積層体とした状態を示す説明図である。

【図 23】第 3 の製造方法において、ハイブリッド積層体を所定の切断線に沿って切断して、第 10 の変形例に係る圧電／電歪デバイスを作製した状態を示す説明図である。

【図 24】図 24 A は第 4 の製造方法において、セラミックグリーン積層体を焼成してセラミック積層体とした状態を示す説明図であり、図 24 B は別体として構成した圧電／電歪素子をそれぞれ薄板部となる金属板の表面に接着した状態を示す説明図である。

【図 25】第 4 の製造方法において、金属板をセラミック積層体に接着してハイブリッド積層体とした状態を示す説明図である。

【図 26】第 4 の製造方法において、ハイブリッド積層体を所定の切断線に沿って切断して、第 11 の変形例に係る圧電／電歪デバイスを作製した状態を示す説明図である。

【図 27】第 12 の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す正面図である。

【図 28】第 13 の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す正面図である。

【図 29】第 14 の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す正面図である。

【図 30】第 15 の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す正面図である。

【図 31】第 16 の変形例に係る圧電／電歪デバイスの構成を示す正面図である。

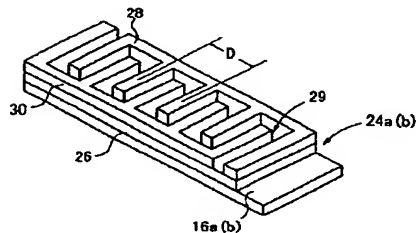
【図 32】従来例に係る圧電／電歪デバイスを示す構成図である。

#### 【符号の説明】

10、10a～10k、10m、10n、10p～10r…圧電／電歪デバイス	
12…孔部	14、14D…基体
14C…セラミック基体	16a、16b…薄板部
18…実質的駆動部分	20…可動部
22…固定部	24a、24b…圧電／電歪素子
26…圧電／電歪層	28、30…対の電極
50A～50D、52A、52B…セラミックグリーンシート	
54…窓部	58…セラミックグリーン積層体
60…セラミック積層体	124a、124b…前駆体
158…薄板のないセラミックグリーン積層体	
160…薄板のないセラミック積層体	162…ハイブリッド積層体

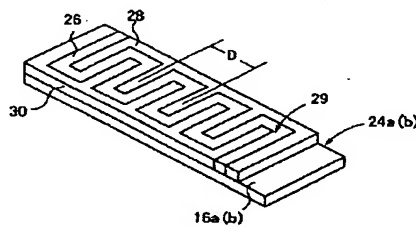
【図 11】

FIG. 11



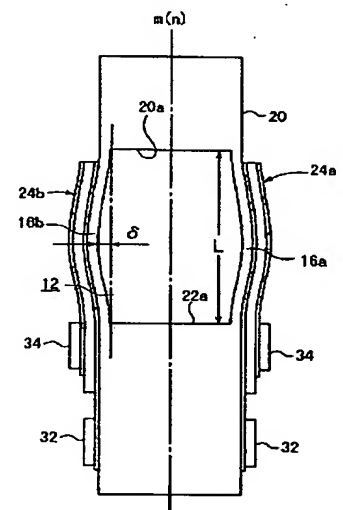
【図 12】

FIG. 12



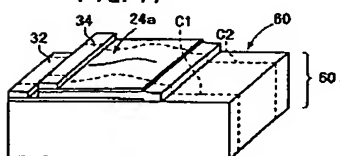
【図 13】

FIG. 13



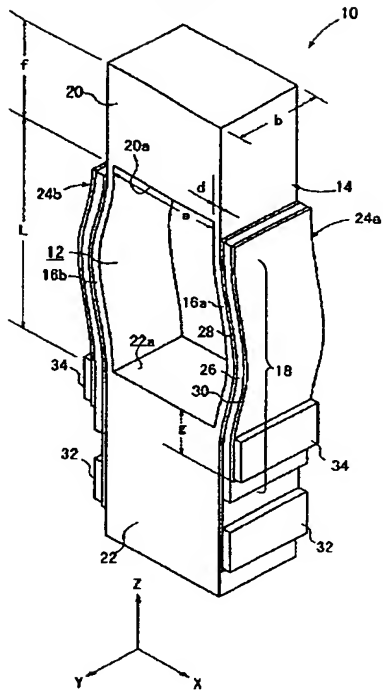
【図 17】

FIG. 17



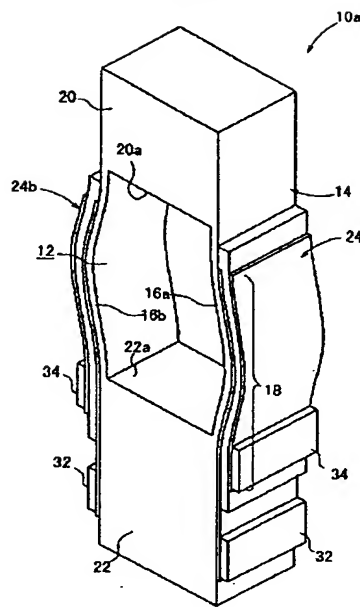
【図1】

FIG. 1



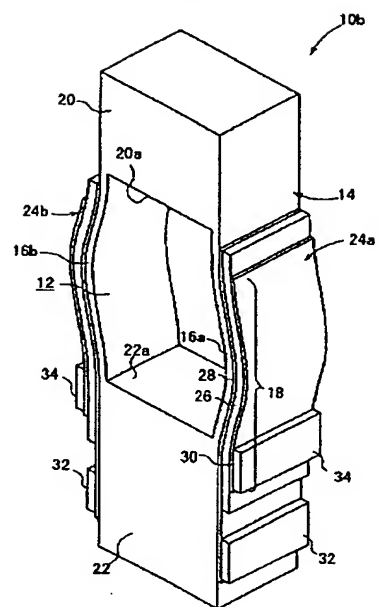
【図2】

FIG. 2



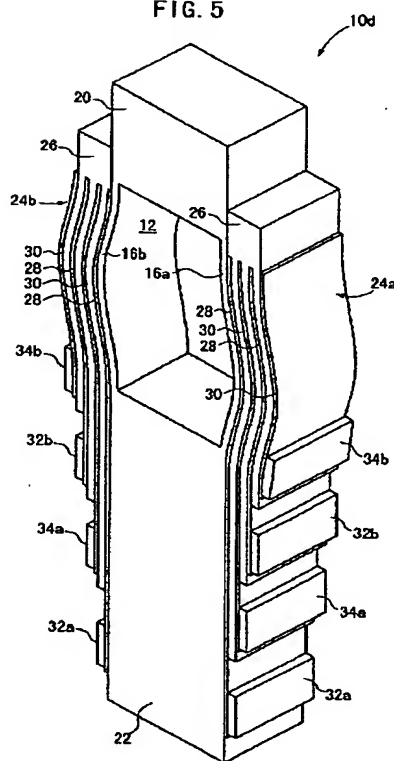
【図3】

FIG. 3



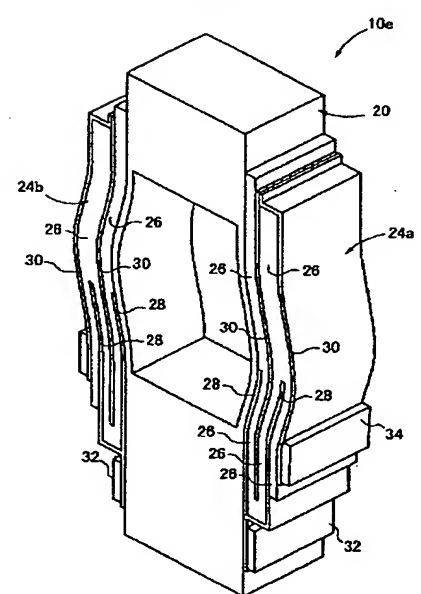
【図5】

FIG. 5



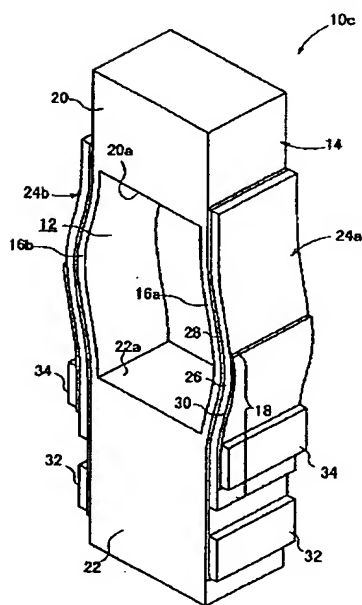
【図6】

FIG. 6



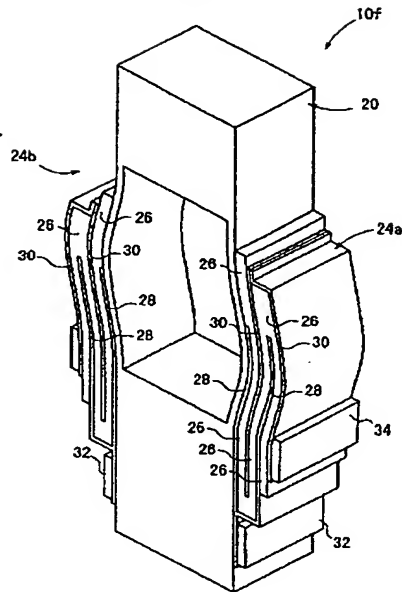
【図4】

FIG. 4



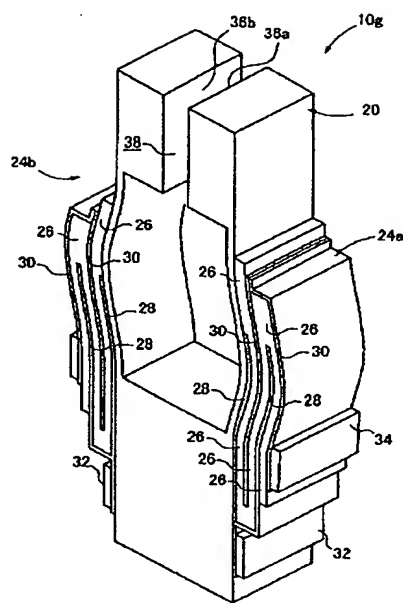
【図7】

FIG. 7



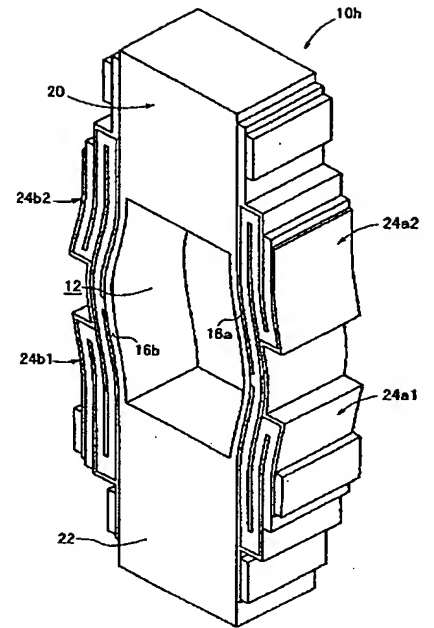
【図8】

FIG. 8



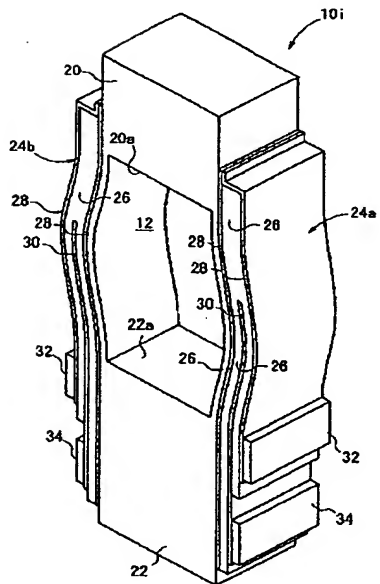
【図9】

FIG. 9



【図10】

FIG. 10



【図14】

FIG. 14A

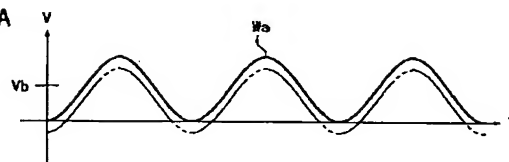
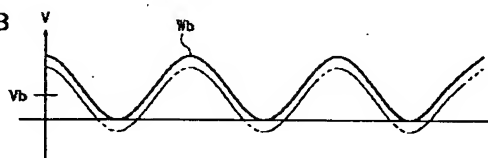
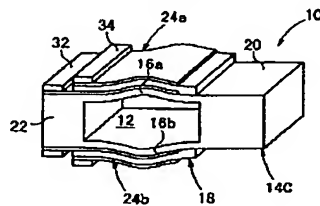


FIG. 14B

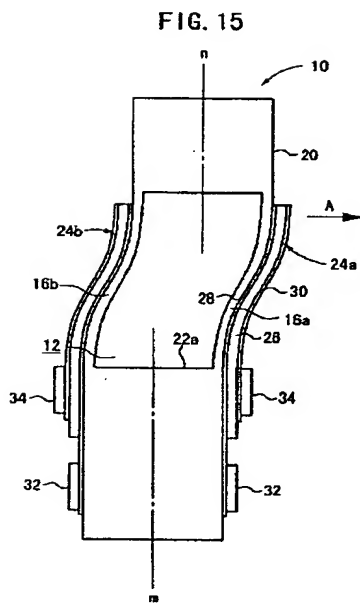


【図18】

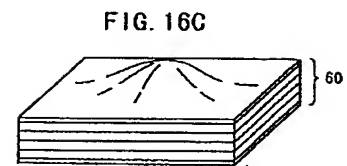
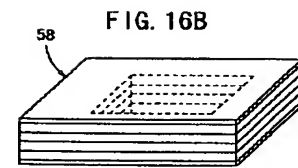
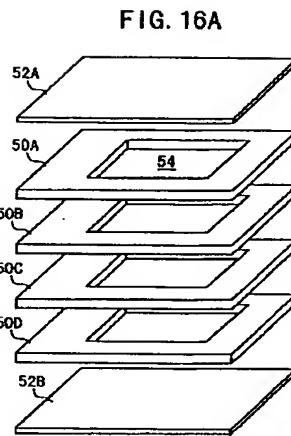
FIG. 18



【図15】



【図16】



【図20】

FIG. 20A

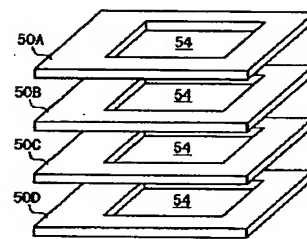
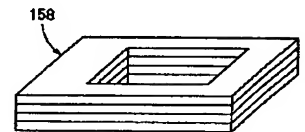
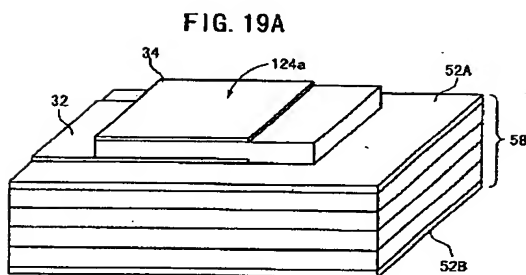


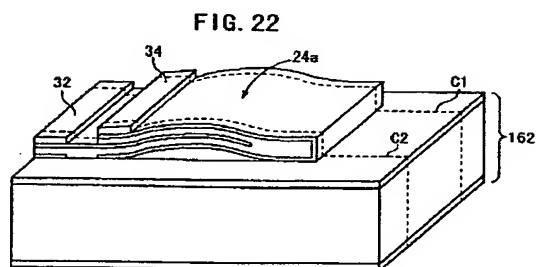
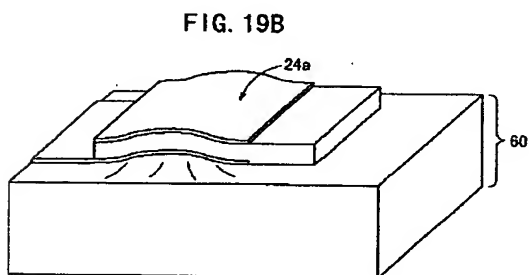
FIG. 20B



【図19】

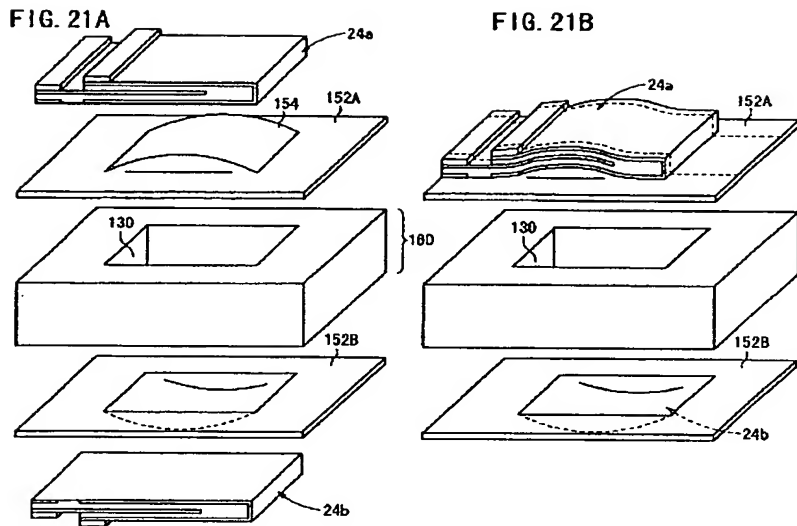


【図22】

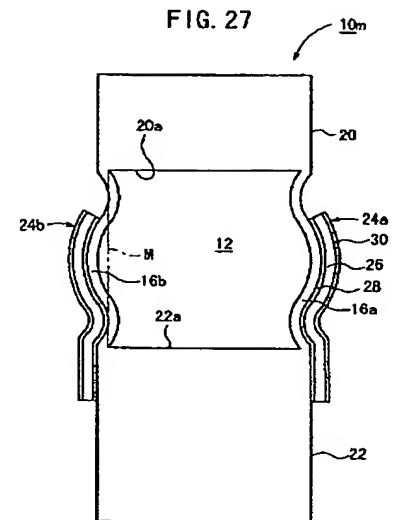




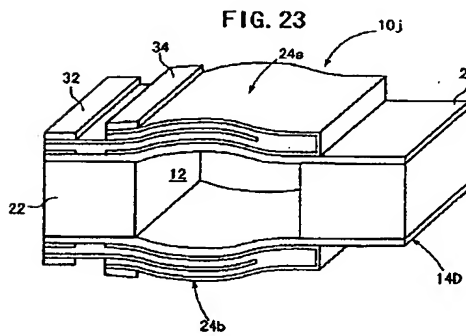
【図21】



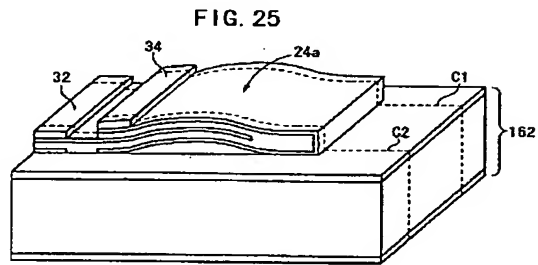
【図27】



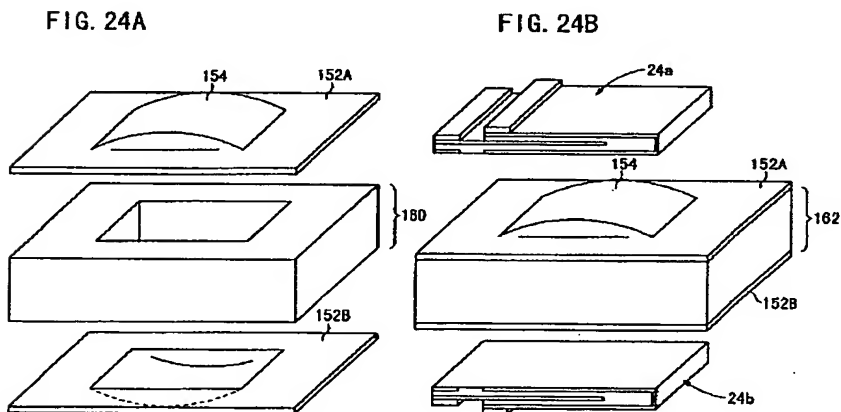
【図23】



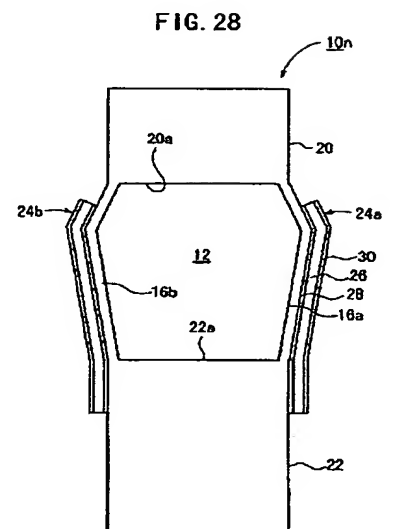
【図25】



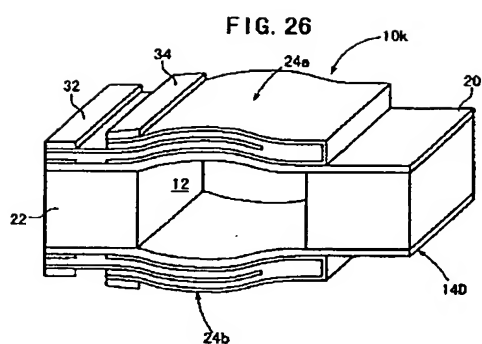
【図24】



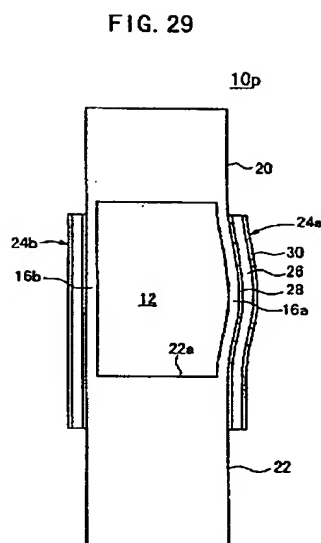
【図28】



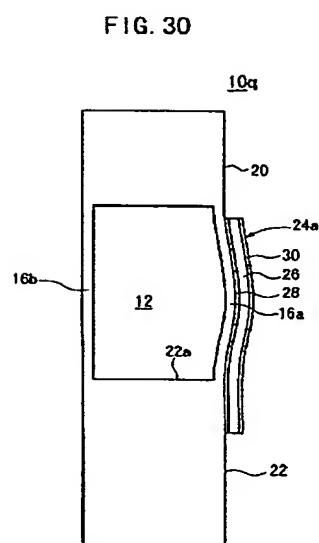
【図26】



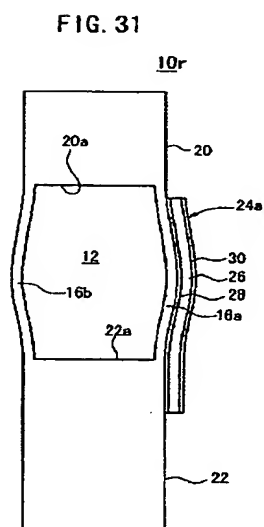
【図29】



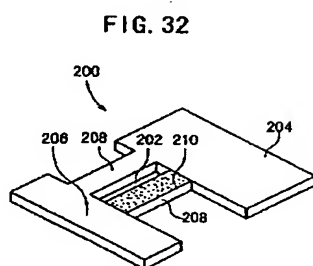
【図30】



【図31】



【図32】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平11-371967  
 (32) 優先日 平成11年12月27日(1999. 12. 27)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2000-13576(P2000-13576)  
 (32) 優先日 平成12年1月21日(2000. 1. 21)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2000-15123(P2000-15123)  
 (32) 優先日 平成12年1月24日(2000. 1. 24)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(31) 優先権主張番号 特願2000-56434(P2000-56434)  
 (32) 優先日 平成12年3月1日(2000. 3. 1)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (72) 発明者 木村 浩二  
 愛知県名古屋市長瀬区須田町2番56号 日  
 本碍子株式会社内  
 Fターム(参考) 5D107 AA03 BB01 BB06 CC02 CC07  
 CC12 FF06